

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2003-287703  
(P2003-287703A)

(43) 公開日 平成15年10月10日 (2003. 10. 10)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テームコード* (参考)
G 0 2 B 27/00		H 0 1 L 21/268	J
H 0 1 L 21/268		G 0 2 B 27/00	V

審査請求 未請求 請求項の数20 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2002-91440 (P2002-91440)

(22) 出願日 平成14年 3 月28日 (2002. 3. 28)

(71) 出願人 000006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目 2 番 3 号

(71) 出願人 000219004

島田理化工業株式会社

東京都調布市柴崎 2 丁目 1 番地 3

(72) 発明者 岡本 達樹

東京都千代田区丸の内二丁目 2 番 3 号 三

菱電機株式会社内

(74) 代理人 100062144

弁理士 青山 葆 (外 1 名)

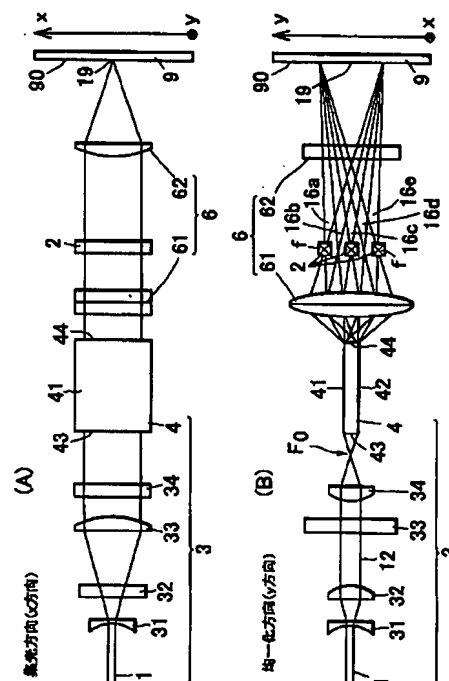
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レーザビーム均一照射光学系

(57) 【要約】

【課題】 レーザビームを分割した分割ビームを重ね合わせて照射面上に均一な強度分布を備えた照射ビームを、ビーム間の干渉を軽減して形成する光学系を提供する。

【解決手段】 レーザ光源からのレーザビームをビーム断面において空間的に分割ビームに分割する導波路と、分割ビームを照射面上で重ね合わせて照射する重ね合せ用のレンズと、照射面上のビーム強度を均一にする遅延板とから成り、上記の導波路が、上記の分割ビーム幅が、レーザビーム断面における断面方向の空間的可干渉距離の  $1/2$  倍以上であって、上記の遅延板が、上記の分割したビームの互いに隣接する隣接分割ビームの一方を他方に対して時間的可干渉距離よりも長く遅延させ、分割ビームの照射面上での干渉を軽減する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 レーザ光源からのレーザビームをビーム断面において空間的に分割ビームに分割するレーザビーム分割手段と、分割ビームを照射面上で重ね合わせて照射する重ね合せ照射手段と、から成るレーザビーム均一照射光学系であって、

上記のレーザビーム分割手段が、上記の分割ビーム幅を、レーザビーム断面における断面方向の空間的可干渉距離の $1/2$ 倍以上とすることを特徴とするレーザビーム均一照射光学系。

【請求項2】 レーザ光源からのレーザビームをビーム断面において空間的に分割ビームに分割するレーザビーム分割手段と、分割ビームを照射面上で重ね合わせて照射する重ね合せ照射手段と、照射面上のビーム強度を均一にする均一化手段とから、成るレーザビーム均一照射光学系であって、

上記の均一化手段が、上記の分割したビームの互いに隣接する隣接分割ビームの一方を他方に対して該レーザビームの時間的可干渉距離よりも長く遅延させる光学的遅延手段を含むことを特徴とするレーザビーム均一照射光学系。

【請求項3】 上記のレーザビーム分割手段が、互いに対向する反射面を有する一次元方向の導波路である請求項1ないし2いずれかに記載の光学系。

【請求項4】 上記のレーザビーム分割手段が、レーザビームを一次元的に分割する分割用のシリンドリカルレンズアレイである請求項1又は2に記載の光学系。

【請求項5】 レーザ光源からのレーザビームをビーム断面において空間的に分割ビームに分割するレーザビーム分割手段と、分割ビームを照射面上で重ね合わせて照射する重ね合せ照射手段と、照射面上のビーム強度を均一にする均一化手段とから、成るレーザビーム均一照射光学系であって、

上記のレーザビーム分割手段が、上記の分割ビーム幅を、レーザビーム断面における断面方向の空間的可干渉距離の $1/2$ 倍以上とし、且つ上記の均一化手段が、上記の分割したビームの互いに隣接する隣接分割ビームの一方を他方に対して該レーザビームの時間的可干渉距離よりも長く遅延させる光学的遅延手段を含むことを特徴とするレーザビーム均一照射光学系。

【請求項6】 上記のビーム分割幅が、空間的可干渉距離の $1/\sqrt{2}$ 倍以上である請求項1ないし5いずれかに記載の光学系。

【請求項7】 上記のビーム分割幅が、空間的可干渉距離以上である請求項1ないし5いずれかに記載の光学系。

【請求項8】 上記のレーザビーム分割手段が、互いに対向する反射面を有する一次元方向の導波路である請求項5ないし7いずれかに記載の光学系。

【請求項9】 重ね合せ照射手段が、レーザビーム分割

手段からの分割ビームを照射面に転写する転写レンズを含み、

上記の光学的遅延手段が、転写レンズにより形成した複数の分割ビームを空間的分離した領域で、該空間的に分離した隣接分割ビームのいずれかを透光するように配置された遅延板である請求項8に記載の光学系。

【請求項10】 上記の導波路の反射面の間を反射しないで通過した分割ビームを遮断するようにした請求項8又は9に記載の光学系。

10 【請求項11】 導波路に対する入射レーザ光の光軸が上記の導波路の反射面間の中心軸と斜交して、反射面の間を反射しないで通過する分割ビームを生じさせないことを特徴とする請求項8又は9に記載の光学系。

【請求項12】 導波路が、中実な透光体からなり、当該導波路の入射面が導波路の中心軸と斜交して、反射面の間を反射しないで通過する分割ビームを生じさせないことを特徴とする請求項8又は9に記載の光学系。

20 【請求項13】 上記のレーザビーム分割手段が、レーザビームを一次元的に分割する分割用のシリンドリカルレンズアレイである請求項5ないし7いずれかに記載の光学系。

【請求項14】 上記の光学的遅延手段が、分割用のシリンドリカルレンズアレイにより形成した複数の分割ビームを空間的分離した領域で、互いに隣接する分割ビームのいずれかを透光するように配置された遅延板である請求項13に記載の光学系。

【請求項15】 重ね合せ照射手段が、上記分割用のシリンドリカルレンズアレイからの分割ビームを照射面に転写する転写用シリンドリカルレンズアレイを含む請求項13又は14に記載の光学系。

30 【請求項16】 上記の光学的遅延手段が、該転写用のシリンドリカルレンズアレイの後方と前方とに分割して配置されている請求項15に記載の光学系。

【請求項17】 上記の転写用シリンドリカルレンズアレイは、光学的遅延手段を通過する分割ビームを転写する微小シリンドリカルレンズと、光学的遅延手段を通過しない分割ビームを転写する微小シリンドリカルレンズとが、異なる焦点距離を有する請求項13ないし16いずれかに記載の光学系。

40 【請求項18】 上記遅延板が、レーザ光に対して透明なガラスから成る請求項9又は14に記載の光学系。

【請求項19】 レーザ源が、固体レーザ又は半導体レーザの基本波又は高調波である請求項1ないし17いずれかに記載の光学系。

【請求項20】 照射面が、基板上に形成された非晶質若しくは多結晶質の半導体膜であり、上記光学系が半導体膜アニーリング用光学系である請求項1ないし18いずれかに記載の光学系。

【発明の詳細な説明】

50 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、被照射物のレーザ処理に際して照射面における照射レーザビームの均質性を改善したレーザビーム均一照射用の光学系に関する。

【0002】

【従来の技術】レーザ照射により加熱処理をする例として、多結晶ケイ素膜の製造に際して、予め、適当な基板、例えばガラス基板の上にCVDなどの気相形成法により非晶質のケイ素膜を被着形成しておき、この非晶質ケイ素膜を、レーザビームで走査して、多結晶化する方法が知られている。

【0003】ケイ素膜の多結晶化方法では、例えば、レーザ光源からのレーザビームをレンズにより非晶質ケイ素膜上に集光してレーザ照射をし、照射の際にケイ素膜を走査させて、熔融凝固の過程で、結晶化させるものがある。このレーザビームは、照射位置でのビームの軸方向強度プロファイルがレーザ源にプロファイルに依存して、通常は、軸対称のガウス分布である。このようなビームの照射により成形した多結晶ケイ素膜は、結晶性の面方向への均一性が非常に低く、これを半導体基板として薄膜トランジスタを製造に使用するのは困難であった。

【0004】さらに、波長の短いエキシマレーザを用いて、照射ビームのプロファイルを矩形状の分布にして半導体膜に照射加熱する技術が知られている。例えば、特開平11-16851号及び同10-333077号公報には、発振器からのレーザビームを、光軸に垂直な面内で互いに交叉する2つのシリンドリカルレンズダレイを通して、その前方に収束レンズを通して、半導体膜表面に収束させるものであった。この方法は、ガウス分布を採るレーザビームを、2つのシリンドリカルレンズダレイにより、直交する2方向で均一な強度分布にするものであり、半導体膜表面での照射レーザビームは、半導体表面上で、直交する2方向で異なった幅となっており、照射レーザビームを掃引移動することにより、半導体膜上に一定幅の多結晶帯域を繰り返し成形するものであった。

【0005】レーザ光源からのレーザビームをこのようなシリンドリカルレンズダレイにより分割し、さらに照射面で合成すると、照射面でレーザ光の干渉が生じて、強度の高低の縞模様になる。このような照射面における重ね合わせたビームに生じる干渉は、長方形の照射レーザビームを使用して半導体膜の加熱結晶化する場合、レーザビームの移動方向の強度プロファイルが結晶成長に大きく影響するので、ケイ素膜の結晶粒に大きく成長させるには好ましくない。

【0006】この干渉による照射レーザ強度の不均一性を除く方法が提案されており、特開2001-127003には、光源からビームをコリメータにより平行光にして、段階状の反射面を有するミラーに照射し、ミラーにより分割したビームを合成するシリンドリカルレンズダレイと収束用のシリンドリカルレンズとにより照射

する構成の光学系を開示している。これは、分割したビームに各反射面間の段差によって、レーザビームのコヒーレント長さ以上の光路差を設けて、照射面における分割ビーム間の干渉を防止するものである。

【0007】また、特開2001-244213号は、光源からのレーザビームをビームコリメータにより平行光にして、小さな複数の反射鏡に照射し、各反射鏡からの反射光を照射面に照射して重ね合わせるもので、各平面鏡を反射するレーザビームの光路差をコヒーレント長さ以上確保することにより、同様に、干渉を防止するものである。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】上記のビーム均一化の技術は、同一の光源からのレーザビームを分割して、照射面で重ね合わせる際の干渉を、複数の反射面を有する反射鏡を利用して光路差を設けて、防止するのであるが、これらの光学系は、特殊な反射鏡を必要としていた。特に、特開2001-244213の光学系は、反射鏡による光学系の光軸を曲げる配置が必要であり、さらに、光学系の各反射鏡は、多数の分割ビームに対応して照射面に対して正確に特定の位置関係を満たすように配置する必要があり、反射鏡の配置が複雑となり、熱処理装置として配置すべき光学系の自由度が低くなる問題があった。特に、全ての分割ビームに光路差を設けるのは、時間的可干渉距離の大きいレーザ発振源に対しては、装置が大きく且つ複雑になり、現実的でなく、且つ、光学的調整が困難であった。

【0009】本発明は、上記の問題に鑑み、一般に、レーザビームを分割した分割ビームを重ね合わせて照射面上に均一な強度分布を備えた照射ビームを形成する光学系において、重ね合わせによる分割ビーム間の干渉を防止して、照射ビームの一層の均一化を図ることのできるレーザビーム均一照射光学系を提供するものである。本発明は、このような干渉を防止して照射ビームの均一化をするための構成と調整とが簡単で容易な均一照射光学系を提供しようとするものである。さらに、本発明は、特に、被照射物として非晶質ケイ素膜に適用してその多結晶化をするためのレーザ加熱装置に適用して、結晶領域に亘って格子欠陥の少ない多結晶ケイ素膜を製造可能にする光学系を提供しようとするものである。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明のレーザビーム均一照射光学系は、レーザ光源からのレーザビームをビーム断面において空間的に分割するレーザビーム分割手段と、分割した複数のビームを照射面上で重ね合わせて照射する重ね合せ照射手段と、照射面上のビーム強度を均一にする均一化手段とから、成るものであり、上記のレーザビーム分割手段が、上記のビーム分割幅を、上記ビーム断面における断面方向の空間的可干渉距離の1/2倍以上とするように光源レーザビームをビーム分割して、

分割ビームを照射面で重ね合わせるとき分割ビーム相互の干渉を軽減して、照射強度分布を均一化するものである。

【0011】また、このレーザビーム均一照射光学系は、レーザ光源からのレーザビームをビーム断面において空間的に分割するレーザビーム分割手段と、分割した複数のビームを照射面上で重ね合わせて照射する重ね合せ照射手段と共に、照射面上のビーム強度を均一にする均一化手段とから、成るものであり、上記の均一化手段が、上記の分割したビームの互いに隣接する隣接分割ビームの一方を他方に対して時間的可干渉距離よりも長く遅延させる光学的遅延手段を含み、互いに隣接した分割ビーム間の照射面上での干渉を防止して、照射強度分布を均一化するものである。さらに、本発明のレーザビーム均一照射光学系は、上記のレーザビームの断面方向の空間的可干渉距離の要素と、光軸方向の時間的可干渉距離の要素とを両方とも低減することにより、照射強度分布を極めて均一にするものである。

【0012】上述の分割ビームの分割幅は、レーザビーム分割手段の出射面における分割ビームの幅として規定され、このとき、空間的可干渉距離は、光源からのレーザビームが当該出射面の位置に投射された時の断面内における空間的可干渉距離を言う。この空間的可干渉距離は、レーザビームが二つに分岐され、その後照射面上で再び重ね合わせた時に生じる干渉が後述のビジビリティが $1/e$ となる時の2つのビームの最小の重なり距離を言う。

【0013】本発明においては、分割ビーム幅のビーム断面における断面方向の空間的可干渉距離に対する比を $1/2$ 以上とするが、好ましくは、 $1/\sqrt{2}$ 以上、さらに、好ましくは、1以上とする。即ち、ビーム分割手段により分割される分割ビームの幅は、好ましくは、空間的可干渉距離の $1/\sqrt{2}$ 倍以上に、特に、1倍以上に設定される。分割ビーム幅の上限は、レーザビームを分割する分割数により決まるが、分割数は、少なくとも5であり、好ましくは、7以上である。分割数が大きいかほど、照射レーザビームの強度の平坦化に有効ではあるが、分割数を大きくして、上記分割ビーム幅が、空間的可干渉距離に対する比 $1/2$ 未満になるのは好ましくない。実用的な、分割数は、5～7が利用され、分割ビーム幅を空間的可干渉距離に対して1倍以上に設定する。

【0014】レーザビーム分割手段には、導波路とシリンドリカルレンズアレイとを含む。いずれも、レーザビームを光軸に対して垂直な面におけるいずれか一方に分割する。

【0015】導波路は、互いに対向する反射面を有する中空の又は中実の透光体を含む。中空の導波路は、2つの鏡面を一定間隔で対向して配置したものが利用できる。中実の導波路は、板状で両方の主面を鏡面にした透光体であり、通常は、光学ガラスの板を利用することが

できる。このような導波路においては、レーザビーム分割手段には、レーザ源からの放射レーザビームを、導波路内の反射面間に入射させる集光レンズを含む。

【0016】導波路の出射面からは、導波路内を、反射面で反射しないで、透過する分割ビームと、対向する反射面で反射する反射回数ごとに2組の分割ビームとが得られる。

【0017】さらに、導波路は、反射しないで透過する分割ビームを生じさせないような構造ないし配置が好ましい。この配置は、単一の光学的遅延手段を、一定の群の分割ビームにだけ挿入することにより、他方の群に挿入することなく、照射面上での干渉を軽減でき、単一の光学的遅延手段の配置を簡便にできる利点がある。

【0018】このために、好ましくは、反射しないで通過した分割ビームに遮蔽体を挿入して、遮蔽することができる。別の態様は、導波路への入射光を導波路中心軸に対して非対称に入射させる構造が採用できる。このために、導波路には、導波路に対する入射レーザ光の光軸が上記の導波路の反射面間の中心軸と斜交して、反射面の間を反射しないで通過する分割ビームを生じさせないこともできる。さらに別の態様は、導波路には中実な透光体を用いて、当該導波路の入射面が導波路の中心軸と斜交する構成にして、入射光が斜交した入射面で屈折させて、少なくとも1回は反射面に反射させて、分割ビームを構成することができる。これらの態様では、反射しないで通過した分割ビームを斜光する構成に比して、全ての分割ビームを照射に利用できる利点がある。

【0019】他方、レーザビーム分割手段としてのシリンドリカルレンズアレイは、柱状で断面が凸レンズ状の複数のシリンドリカルレンズを平行にして光軸に実質的に直交する一方向に配列したものであり、各微小のシリンドリカルレンズごとに対応する分割ビームを得ることができる。シリンドリカルレンズアレイを使用するレーザビーム分割手段には、好ましくは、シリンドリカルレンズアレイに平行光を入射するコリメータを含む。

【0020】本発明においては、光学的遅延手段には、好ましくは、ビームの遅延用の透光体、即ち、遅延板を利用して、各分割ビームが互いに空間的に分離した光路に挿入される。このとき、各分割ビームをレーザビームに逆に投影した時の隣り合う分割ビームのうち少なくともいずれか一方に、遅延板を挿入して、互いに隣接する分割ビームの間に光学的に光路差を設ける。遅延板は、光路差をそのレーザビームの時間的可干渉距離より大きくして、分離された分割ビームが照射面に照射し重ねあわ節時のレーザ光の干渉を防止することができる。光路差は、遅延板のビーム透過長さと、遅延板の屈折率と空気屈折率との差により規定される。

【0021】このような遅延板は、重ね合せ照射手段にレーザビーム分割手段からの分割ビームを照射面に転写する転写レンズを含み、転写レンズにより形成した複数

分割ビームを空間的分離した領域を形成するときは、このような領域に挿入される。例えば、レーザビーム分割手段が、導波路である場合には、転写レンズにより各分割ビームが収束した焦点位置に配置される。レーザビーム分割手段が、シリンドリカルレンズアレイである場合には、各シリンドリカルレンズの出射側光路上に配置することができる。

【0022】このようにして、複数の分割ビームは、その一部が、光学的遅延手段を透過し、重ね合せ照射手段が、分割ビームを照射面上で重ね合わせて照射し、照射レーザのプロファイルが、矩形状ないし直線状と成るように投影する。照射されたビームのその長手方向の強度分布が一様となる。

【0023】このような光学系は、ガラス基板上に化学的気相形成法などにより被着形成した非晶質又は多結晶のシリコン皮膜を、加熱熔融して、多結晶化するか又はより粗大な結晶に成長させるためのアニーリング装置に利用するのに適している。

【0024】特に、上記のアニーリング用光学系においては、シリコン皮膜表面上に、細い広幅状にした線状の照射ビームを形成しビーム線に直交する方向に走査することにより、シリコン皮膜上をそのビーム幅で掃引して均一に加熱するようにして、結晶成長させることができ、ビームが干渉模様のない均一な強度分布であるので、均一な高い結晶性を備えた結晶シリコン膜を製造することができる。

【0025】

【発明の実施の形態】実施の形態1. 本発明の実施の形態において、図1(A)と図1(B)には、レーザビーム均一照射光学系を示すが、この光学系は、照射面上にy方向に均一な分布で広がり、x方向に線状に収束した直線状の照射プロファイルを形成する例を示す。光学系は、レーザビーム分割手段3と、重ね合せ照射手段6と、光学的遅延手段2を含み、レーザビーム分割手段3は、導波路4を利用して、レーザビームを所望数の分割ビーム16a~16eに分割し、分割ビームを重ね合せ照射手段6により照射面上に直線状プロファイルの照射ビーム19として結像している。

【0026】この実施形態では、レーザビーム分割手段3は、レーザ発振器からのレーザビーム1を導波路4内に入射するための光学系を含み、平行ビームにするためのビーム拡大レンズ31とy方向コリメートレンズ32とx方向コリメートレンズ33を含み、次いでy方向に集光して、導波路4内に入射させるシリンドリカルレンズの集光レンズ34を含む。

【0027】導波路4は、互いに対向する平行な主表面が反射面41、42を有し、反射面41、42は、この図では、y方向に垂直である。両反射面の間をレーザビーム1が貫通する入射端面43と出射端面44は、レーザビームの光軸と直交している。入射したレーザビーム

1は、反射面間を通過して出射端から放射する成分の分割ビーム、反射面41と42のいずれかで1回反射( $m=1$ )した成分の2つ分割ビーム( $m=+1$ ,  $m=-1$ )と、両方の反射面で2回反射( $m=2$ )の成分の2つの分割ビーム( $m=+2$ ,  $m=-2$ )、さらに、3回ないしそれ以上の回数の反射したそれぞれ一対の分割ビームが、出射端から放射される各成分とに分割される。

【0028】導波路4からの分割ビームは、重ね合せ照射手段6により、照射面90上に重ね合わせて投影されるが、重ね合せ照射手段6は、分割ビームを照射面上にy方向に転写するy方向の転写レンズ61(シリンドリカルレンズ)と、x方向に集光する集光レンズ62(シリンドリカルレンズ)から構成することができる。y方向転写レンズ61は、x方向集光レンズ62を通して、照射面90上にy方向に規定の長さに延ばし、x方向集光レンズ62が、x方向に線状に収束させ、これにより、照射面上には直線状プロファイルの照射ビーム19が得られる。

【0029】重ね合せ照射手段6のy方向の転写レンズ61は、各分割ビームが実焦点を作って、照射面19上に投影するように設定され、実焦点位置近傍で分割ビームが互いに空間的に分離した位置に、光学的遅延手段として、遅延用の透光体2を、配置するが、この遅延板2は、分割ビームが、分割前に互いに隣り合う領域に有る分割ビームについて、いずれか一方の光路を他方の光路に対して遅延させて、光学的に光路差を設けて、照射面19上で重ね合わせた時の2つの分割ビーム間の干渉を防止するものである。図1の例は、転写レンズ61の出射側での実焦点位置で、分割ビーム一つおきに遅延板2を配置している。

【0030】さらに詳しくは、図2は、レーザビーム分割手段の導波路について、レーザ発振器からのレーザビームの分割の態様を示しているが、レーザ発振器(不図示)からのレーザビームは、シリンドリカルレンズの集光レンズ34により焦点F0を経て導波路4内に入射される。導波路内では、入射ビームの一部が、反射面での反射なしに透過する分割ビーム(反射回数 $m=0$ )があり、互いに対向する反射面41又は42で1回だけ反射した分割ビームがy方向に2種類あり( $m=\pm 1$ )、反射面41及び42で2回反射した分割ビームが同様にy方向に2種類あり( $m=\pm 2$ )、それぞれの分割ビームは、出射面43から放射される。光軸に対して垂直で焦点F0を含む面には、出射面43から放射される各分割ビームの虚像焦点 $F+1$ ,  $F-1$ ,  $F+2$ ,  $F-2$ があり、各分割ビームは、これら虚像焦点 $F+1$ ...から出射面43の開口を経て放射されるように見える。

【0031】導波路がないと仮定したときの集光レンズ34により焦点を介して広がるレーザビームを、出射面44の位置の面に投影したビームのプロファイルが図14であるとする、この投影したレーザビーム14は、多

数の分割ビームのそれぞれに対応した区分の成分に分解できる。レーザビーム1の断面での各成分を断面上で、y方向に、 $m = -2, -1, 0, +1, +2$ の順に区分すると、導波路4の出射面44から放射する成分、即ち、分割ビームは、y方向に、反射回数 $m = +2, -1, 0, +1, -2$ の成分の順の配列になることに注意を要する。

【0032】図2では、導波路4の出射面44から放射される $m = 0, +1, +2$ の成分の分割ビームの配置だけを示しており、 $m = +1$ と $m = +2$ の分割ビームは、反射面の中間面に対して、互いに反対方向に放射される。他方、 $m = -1, -2$ の分割ビームは、 $m = +1, +2$ の反射面の中心面に対して対称方向にあるが、図中には省略している。

【0033】図3(A)は、レーザビームを焦点F0から、導波路4で反射させずに、導波路4の出射面44の対応する平面上に投影したレーザビーム14における分割ビームの分割幅を図式化したものである。これは、円形プロファイルのレーザビーム14を、導波路により7分割する例である。

【0034】導波路4においては、導波路4の出射面44では、互いに隣接する分割ビームが折り返されて重畳される。それで、レーザビーム1の分割による互いに隣接する成分は、その境界部位が、図3(B)において、導波路の出射面での分割ビームの折り返し部で一致する。例えば、図3(A)において、 $m = +1$ の成分の境界部IIIとこれに接する $m = 0$ の境界部iiiとは、図3(C)に示すように、導波路の出射面44では折り返されて重なり合う。

【0035】このような折り返した分割ビームを、y方向転写レンズ61とx方向集光レンズ62などを介して、照射面90上に重ね合わせて投影されると、照射面上で照射ビームに干渉を生じて、強度に波状分布が形成される。

【0036】図4は、導波路からの分割ビームの2つの成分だけ、例えば、反射回数 $m = +1$ と $m = 0$ の2つの成分を、y方向転写レンズ61とx方向集光レンズ62などを介して、照射面90上に重ね合わせて照射した時の照射面上での強度分布図の例を示すが、元のレーザビーム上で互いに隣接する分割ビーム境界部iiiとIIIでは大きく干渉しあうが、同様にものレーザビーム上で互いに離れた分割ビーム境界部IVとiiとでは、干渉による強度分布の変動が小さい。この図で、横軸には、分割幅dを取り、縦軸に相対的ビーム強度を取っている。但し、図4は、レーザビームの強度分布をガウス分布に近似させ、分割幅dが、空間的可干渉距離sと等しい場合である。

【0037】照射面上の重ね合わせによる干渉の程度は、分割幅dとその位置でのレーザビーム空間的可干渉距離sとの比に依存する。ここに、空間的可干渉距離s

は、レーザビームのビーム断面における強度分布がガウス分布を保存するとしたとき、図5に模式的に示すように、ビーム直径Dを強度が光軸強度の $1/e^2$ （ここにeは自然対数の底）になる時の円( $1/e^2$ 円)の径Dであると規定し、単一のレーザビームを2つに分岐し照射面上で光軸を共通にして干渉させた状態から、光軸を互いにずらしてオーバーラップした照射領域に干渉縞のビジビリティが $1/e$ に低減した時の双方の $1/e^2$ 円の中心間の距離と定義される。ここに、ビジビリティとは、干渉した強度分布の最高強度と最低強度の差を最高強度と最低強度との和で除した値であり、干渉の程度を示す尺度である。

【0038】レーザビームの分割幅dを、 $d = s/2$ としたとき、互いに隣り合う分割ビームの互いに近接する領域の照射ビームの重なり部ではビジビリティは1に近く、離れた領域の照射ビームの重なり部ではビジビリティは $1/e$ となる。その中間領域では、1から $1/e$ に漸減する。好ましい実施形態では、分割幅dは、 $d = s/2$ 以上であり、この場合の離れた領域の照射ビームの重なり部ではビジビリティは、 $1/e$ 以下に低減する。

【0039】さらに、レーザビームの分割幅dは、 $d = s/\sqrt{2}$ 以上としたときは、離れた領域の照射ビームの重なり部ではビジビリティは $1/e^2$ に低減する。最も好ましい実施形態では、離れた領域の照射ビームの重なり部ではビジビリティは $1/e^4$ 以下に低減する。

【0040】分割幅dを $d = s$ にとって、図2に示すように導波路4によりレーザビームを7分割して、照射面上に重ね合わせた時の強度分布を図6に示すが、かなり改善された強度分布を示す。この図で、発生する干渉縞の周期Tは、 $T = \lambda / \sin \Delta \theta$ で決まる。ここに $\lambda$ は、波長であり、 $\Delta \theta$ は干渉を生じる2つの分割ビーム照射面19上での入射角の差である。

【0041】さらに、本発明の光学系は、上記の均一化手段が、上記の導波路により形成した分割ビームのうち互いに隣接する隣接分割ビームのいずれか一方を他方に対して時間的可干渉距離よりも長く遅延させる光学的遅延手段を含んでいる。この光学的遅延手段は、中空なミラーでも、中実な透光体にも利用されるが、互いに隣接する領域からの分割ビームが互いに干渉をし合うのを、両者間に光路差をもうけて、干渉を防止するものである。

【0042】レーザビームの時間的可干渉距離 $\Delta L$ が、 $\Delta L = c \Delta t = \lambda^2 / \Delta \lambda$ で与えられる。ここに、cは光速、 $\Delta t$ は可干渉時間、 $\Delta \lambda$ はレーザの波長幅(スペクトル幅)であり、レーザの波長幅が狭いほど、可干渉距離が長くなる。例示すれば、Nd:YAGレーザでは、中心波長の $\lambda = 1.06 \mu\text{m}$ のビームについてスペクトル幅 $\Delta \lambda = 0.12 \sim 0.30 \text{ nm}$ であるので、時間的可干渉距離 $\Delta L$ は、 $\Delta L = 3.8 \sim 9.4 \text{ mm}$ となる。

【0043】図7は、レーザビームの互いに隣接する領域から分割した2つの分割ビームの照射面におけるビジビリティと、分割ビームの間に設けた光路の差の距離（即ち、光路差 $\Delta a$ ）との関係を示しているが、光路差が時間的可干渉距離 $\Delta L$ であるときには、ビジビリティは、 $1/e$ に低減し、分割ビームの間からの光路差をさらに大きくすることにより、ビジビリティは、さらに小さくなる。

【0044】図1には、複数の分割ビームが互いに分離した位置において、互いに干渉を生じやすい分割ビームのいずれかに、光学的遅延手段として、透光性の遅延板2、即ち、光学ガラス板2を挿入して、隣り合う分割ビームの間に光路差を形成している。この例は、導波路4により分割したビームをy方向転写レンズ61により転写し、x方向集光レンズ62により照射面上に、照射ビーム19を形成するが、y方向転写レンズ61とx方向集光レンズ62との間に、y方向転写レンズ61により各ビームに焦点fを形成し、遅延板2としてのガラス板は、隣り合うビームのいずれか一方に焦点位置f又はその前後に挿入して光路差を設ける。この例は、5つの分割ビームの1つおきにガラス板を挿入しており、互いに隣り合う遅延板2、2の間の空間には、他の分割ビームが通過する。このような配列の遅延板2により、照射面上に重ね合わされた照射ビームには、互いに隣接する分割ビーム間の干渉が生じないので、実質的に、強度分布が均一なプロファイルにすることができる。ガラス板による光路差 $\Delta a$ は、ガラス板の厚みaと、ガラスの屈折率 $n_1$ 、空気の屈折率 $n_0$ から、
$$\Delta a = a(n_1 - n_0) / n_1$$
で与えられる。

【0045】ガラス板による光路差 $\Delta a$ は、時間的可干渉距離 $\Delta L$ 以上に設定する（ $\Delta a \geq \Delta L$ ）ので、これらの式から、互いに隣接する分割ビーム間に時間的可干渉距離 $\Delta L$ 以上の光路差を与えるガラス厚みaが求められる。遅延板の厚みは、好ましくは、遅延板により時間的可干渉距離 $\Delta L$ の2倍以上、さらに好ましくは、4倍以上の光路差を設けるように、設定される。例えば、Nd:YAGレーザでは、光学的遅延手段に石英（ $n_1 = 1.46$ ）を用いたとき、時間的可干渉距離 $\Delta L$ は3.8～9.4mmに対して、光路差 $\Delta a$ は12～30mmになる。

【0046】実施の形態2。図8は、上記実施形態の変形例であって、x方向から見た光学系の配置を示すが、光学的遅延手段2の配置の相異を除いては、基本的に、図1(A)と図1(B)の光学系と同じレーザビーム均一照射光学系を示す。

【0047】この実施の形態においては、特に、反射回数 $m=0$ の場合の直進ビームを、y方向転写レンズの後

で、これが干渉に寄与することはない。従って、光学的遅延手段2としては、直進ビーム（ $m=0$ ）に対して対称な配置の分割ビームの群（ $m=+1, -2$ ）又は（ $m=-1, +2$ ）のいずれか一方のみに挿通して、他方の群れは、光学的遅延手段2を配置しないので、これにより、照射面上の分割ビーム相互間の干渉を軽減且つ、光学的遅延手段2は、一方の分割ビーム群（ $m=+1, -2$ ）を一括して透過させる一枚のガラス板又はガラスロッドが利用でき、光学システムを簡素化できる利点ある。

【0048】実施の形態3。本発明の光学系においては、導波路内を、反射することなく直進する分割ビームを含まないように、全ての分割ビームが少なくとも一回は反射し且つ、2つ以上の反射分割ビームが、同数回反射するのを防止するようにした導波路によるレーザビーム分割手段を提供するものである。このようなレーザビーム分割手段は、図9に示すように、導波路の中心軸に対して、レーザビーム分割手段の入射光学系の光軸を所定の角度で、斜交して配置した構造が採用できる。

【0049】図10と図11に示すように、導波路4内に入射させるシリンドリカルレンズの集光レンズ34のビームの周辺成分①が、導波路4の入射面に入射して、反射面で1回反射して出射面から放出され、集光レンズ34からの他のビーム成分②③④が、それぞれ2回反射、3回反射、4回反射され、他の成分がさらに多数回反射されて、出射面から放射されるように、設定される。放射されて分割されたビームは、図10の放出面側に、反射回数mの数字1～8で表されている。

【0050】図11には、出射面44上の平面151におけるビーム断面の分割ビーム配置と、出射面における分割ビームの重ね合わせを記載している。反射回数の順番は、レーザビーム断面における分割ビームの配置の順番を表している。従って、反射回数の順番が1つ違いの分割ビーム同士は、照射面上で干渉しやすいので、いずれか一方だけに、空間的遅延手段として、遅延板を配置するが、この配置は、図9に示すように、y方向転写レンズによる焦点f位置において、反射偶数回数（例えば、 $m=2, 4, 6$ ）の分割ビームは、奇数回数の分割ビームに対して一方側に偏っているのので、反射偶数回数の分割ビームを、単一の遅延板21を挿入することによって、簡単に実現できる。

【0051】図11において、分割ビームの幅dは、上記の実施形態に述べたように、空間的可干渉距離sの $1/2$ 以上、好ましくは、 $1/\sqrt{2}$ 以上、特に、1以上に設定される。

【0052】図12は、導波路内を直進する分割ビームを形成しない他の例を示すものであるが、この例は、導波路4の光軸40を集光レンズ34の光軸30と一致させるが、導波路4の入射面43を、光軸に対して直交させないで、適当な角度をもって斜交させ、斜交した入射

面での入射ビームを屈折させることにより、0回反射をなくして、1回、2回、3回などの反射の分割ビームを得るものであり、この例においても、一つの遅延板21を、y方向転写レンズによる焦点f位置において、偶数回反射（例えば、 $m=2, 4, 6$ ）の分割ビームは、又は奇数回反射の分割ビームにまとめて挿入することにより、互いに隣接する分割ビーム間の光路差を設けることができる。

【0053】実施の形態4. 他のビーム分割手段として、シリンダカルレンズアレイによる実施形態を以下に示すが、この例は、図13に示すように、レーザビーム均一照射光学系は、レーザ発振器からのレーザビーム1をシリンダカルレンズアレイ5に入射するための光学系を含み、平行ビームにするためのビーム拡大レンズ31とy方向コリメートレンズ32とx方向コリメートレンズ33を含み、コリメートレンズ33からの平行ビームをシリンダカルレンズアレイ5に入射する。

【0054】シリンダカルレンズアレイ5は、図中x方向に柱状にして光軸に向けて断面凸レンズをy方向に積重ねたレンズを指すが、図例は、シリンダカルレンズ5段から構成され、これにより5つ分割ビームが形成される。

【0055】分割用のシリンダカルレンズアレイ5からのy方向への分割ビームは、その前方に配置して別体の転写用のシリンダカルレンズアレイ51に入射され、転写用シリンダカルレンズアレイ51からの分割ビームは、x方向に集光する集光レンズ62（シリンダカルレンズ）により照射面90上に投射されて、y方向に均一で、x方向には細く収束した線状プロファイルを有する照射ビーム19に成形するものである。さらにフィールドレンズ63が、転写用のシリンダカルレンズアレイ51と集光レンズ62との間に配置されている。

【0056】分割用のシリンダカルレンズアレイ5からy方向に分割した分割ビーム15a~15eには、光学的遅延手段として、遅延板2が挿入されるが、遅延板2は、1つおきの分割ビーム15a, 15c, 15dに挿入され、他の分割ビーム15b, 15eには、挿入されない。これにより、互いに隣合う分割ビーム間（例えば、分割ビーム15aと15bの間、あるいは分割ビーム15bと15cとの間）の照射面90上での干渉が押さえられ、重ね合わせた照射ビームの干渉による強度分布を均一化することができる。

【0057】図15（A、B）は、シリンダカルレンズアレイ5におけるレーザビームの分割の態様を示すものであるが、各微小シリンダカルレンズで分割されたビームは、先の導波路による分割と異なって、照射面での重ね合わせの際に、折り返しがなくて、単に重畳されるだけであり、従って、2つの隣接する分割ビームを転写用シリンダカルレンズアレイ51とx方向集光レンズ62を介して照射面上にの重ね合わせでも、合成後の

強度分布は、y方向での干渉に差異がない。図16は、分割幅dを、上述の空間的可干渉距離sと等しいとした時の互いに隣接する2つの分割ビームの照射面上での重ね合わせによる強度分布がy方向で一定で、そのビジビリティが、 $1/e$ で一定であることを示している。図17は、上記の7分割した分割ビームについて、分割幅dを $d=s$ として、照射面上で重ね合わせた時の強度分布を示すが、y方向で、かなり良い分布を示す。

【0058】実施の形態5. 図14は、図13に示したレーザビーム均一照射光学系の変形例であるが、分割用のシリンダカルレンズアレイ5の分割ビームと、その前方の転写用シリンダカルレンズアレイ51の前方の焦点位置に、それぞれ一對の遅延板22と23を配置したものである。この例では、転写用シリンダカルレンズアレイ51の前後に遅延板を分けて配置したので、転写される面と転写する面とが共役関係になるようにすることができ、これにより、照射面での回折の影響を最小にすることができる利点がある。

【0059】実施の形態6. 図18は、図13に示したレーザビーム均一照射光学系の変形例であるが、遅延板2を挿入した分割ビームについての転写用シリンダカルレンズアレイ51の微小レンズ512と、遅延板を挿入していない分割ビームについての転写用シリンダカルレンズアレイ51の微小レンズ511とは、照射面での結像が一樣になるように異なる焦点距離を有するように調製されている。分割用シリンダカルレンズアレイ5によりy方向に配列分割された分割ビームの1つおきの分割ビームに光路長さ用の遅延板2を挿入することにより、挿入しない分割ビームに対して焦点位置fのずれが生ずるが、焦点位置のずれを転写用シリンダカルレンズアレイ51の各微小レンズの焦点距離で補償するものであり、これにより、照射面上に結像される各分割ビームの強度分布を均一にすることができる。

【0060】実施の形態7. 図19（A）は、図13に示したレーザビーム均一照射光学系の変形例であるが、この例は、y方向に分割されてビーム1つおきに遅延板2が挿入された分割ビームを転写用レンズにより照射面90に照射するに際して、フィールドレンズ63により照射面上y方向にずらして、重ね合わせることに、分割ビーム間の干渉を防止するものである。

【0061】図19（B）には、照射面90上に、分割ビームをずらして照射した時の照射ビーム19の強度分布を示すが、y方向の照射ビーム19の両端部では、強度分布が階段状に低減するけれども、両端部を除く主要な部分は、干渉の少ない均一な分布が得られる。

【0062】

【発明の効果】本発明のレーザビーム均一照射光学系は、レーザビーム分割手段を上記の分割ビーム幅を、レーザビーム断面における断面方向の空間的可干渉距離の $1/2$ 倍以上とするので、照射面における分割ビームに



よる干渉を低減して、均一な強度分布の照射ビームを照射面に形成することができる。

【0063】レーザビーム分割手段により分割したビームを照射面上に照射するときのビーム強度を均一にする均一化手段を含み、上記の均一化手段が、上記の分割したビームの互いに隣接する隣接分割ビームの一方を他方に対して該レーザビームの時間的可干渉距離よりも長く遅延させる光学的遅延手段を含むので、分割ビームを照射面上に照射したとき、互いに隣り合うビーム間の時間的可干渉距離に起因する干渉を防止することができる。

【0064】レーザビーム分割手段に互いに対向する反射面を有する一次元方向の導波路を使用すれば、これにより分割したビームの照射面上での干渉を軽減できる。

【0065】また、レーザビーム分割手段に、レーザビームを一次元的に分割する分割用のシリンドリカルレンズアレイを使用すれば、これにより分割したビームの照射面上での干渉を軽減できる。

【0066】レーザビーム分割手段を上記の分割ビーム幅を、レーザビーム断面における断面方向の空間的可干渉距離の $1/2$ 倍以上とし、且つ均一化手段が、上記の分割したビームの互いに隣接する隣接分割ビームの一方を他方に対して該レーザビームの時間的可干渉距離よりも長く遅延させる光学的遅延手段を含むようにするので、レーザビーム均一照射光学系は、空間的可干渉距離による干渉と時間的可干渉距離とを効果的に低減できる利点がある。

【0067】上記のビーム分割幅を空間的可干渉距離の $1/\sqrt{2}$ 倍以上とすれば、時間的可干渉距離とともに、空間的可干渉距離に起因する照射面上の照射ビームの干渉による強度分布の不均一を軽減することができる。

【0068】上記のビーム分割幅を空間的可干渉距離以上とすれば、空間的可干渉距離に起因する照射面上の照射ビームの干渉による強度分布の不均一を一層軽減することができる。

【0069】上記のレーザビーム分割手段が、互いに対向する反射面を有する一次元方向の導波路とすれば、導波路による分割ビーム間の空間的可干渉距離による干渉と時間的可干渉距離とを効果的に低減できる。

【0070】重ね合せ照射手段としてレーザビーム分割手段からの分割ビームを照射面に転写する転写レンズを含み、上記の光学的遅延手段が、転写レンズにより形成した複数の分割ビームを空間的分離した領域で、該空間的に分離した隣接分割ビームのいずれかを透光するように配置された遅延板とすれば、遅延板の配置が容易になり、構造が比較的簡単で、干渉の少ない均一な強度分布の照射ビームを形成することができる。

【0071】上記の導波路の反射面の間を反射しないで通過した分割ビームを遮断するようにすれば、一個の遅延板により、所要の分割ビームの光路差を設けることができ、構造が比較的簡単で、干渉の少ない均一な強度分

布の照射ビームを形成することができる。

【0072】導波路に対する入射レーザ光の光軸が上記の導波路の反射面間の中心軸と斜交して、反射面の間を反射しないで通過する分割ビームを生じさせない要にすれば、レーザビームのエネルギーを損失させることなく、所要の分割ビーム全部の光路差を設けることができ、構造が比較的簡単で、干渉の少ない均一な強度分布の照射ビームを形成することができる。

【0073】導波路が、中実な透光体からなり、当該導波路の入射面が導波路の中心軸と斜交して、反射面の間を反射しないで通過する分割ビームを生じさせない要にすれば、光学系を光軸に共軸状に配置することができ、同様に、所要の分割ビーム全部の光路差を設けることができ、構造が比較的簡単で、干渉の少ない均一な強度分布の照射ビームを形成することができる。

【0074】上記のレーザビーム分割手段が、レーザビームを一次元的に分割する分割用のシリンドリカルレンズアレイとすれば、特に、分割ビームは、互いに離間した平行ビームとして、遅延手段の配置が容易になる利点がある。

【0075】上記の光学的遅延手段が、分割用のシリンドリカルレンズアレイにより形成した複数の分割ビームを空間的分離した領域で、互いに隣接する分割ビームのいずれかを透光するように配置された遅延板とすれば、互いに離間した平行ビームとして、遅延手段の配置が容易になる利点がある。

【0076】重ね合せ照射手段が、上記分割用のシリンドリカルレンズアレイからの分割ビームを照射面に転写する転写用シリンドリカルレンズアレイを含むようにすれば、互いに光路差を設けた分割ビームの照射面上への転写が容易に行なえる。

【0077】上記の光学的遅延手段を、該転写用のシリンドリカルレンズアレイの後方と前方とに分割して配置すれば、転写される面と転写する面とが共役関係になるようにすることができ、これにより、照射面での回折の影響を最小にすることができる利点がある。

【0078】転写用シリンドリカルレンズアレイは、光学的遅延手段を通過する分割ビームを転写する微小シリンドリカルレンズと、光学的遅延手段を通過しない分割ビームを転写する微小シリンドリカルレンズとが、異なる焦点距離を有するようにして、全ての分割ビームが、照射面において、シャープに結像して合成することができる。

【0079】遅延板が、レーザ光に対して透明なガラスから成るようにすれば、光学系を簡便に構成することができる利点がある。

【0080】レーザ源を、固体レーザ又は半導体レーザの基本波又は高調波とすれば、良質のレーザ光源を用いて、照射面上に均質な強度分布の照射ビームを形成することができる。特に、高調波レーザは、半導体層に吸収

しやすい波長光を利用して、加熱効率を高めることができる利点がある。

【0081】照射面を基板上に形成された非晶質若しくは多結晶質の半導体膜であり、上記光学系が半導体膜アニリング用光学系とすれば、半導体膜の結晶化に有効に利用することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の導波路を利用した実施形態に係るレーザービーム均一照射光学系の配置を示す図で、(A)は、y方向から見た図、(B)は、x方向から見た図を示す。

【図2】 導波路におけるレーザービームの分割の態様を説明する断面図。

【図3】 導波路におけるレーザービームの分割の態様を説明する図(A、B)。

【図4】 導波路により分割した互いに隣接する2つの分割ビームを照射面上で重ね合わせたときの合成照射ビームの強度分布とビジビリティを示す図( $d=s$ のとき)。

【図5】 レーザビームの空間的可干渉距離 $s$ の定義を説明する図。

【図6】 導波路により7つに分割した分割ビームを照射面上で重ね合わせたときの合成照射ビームの強度分布とビジビリティを示す図( $d=s$ のとき)。

【図7】 レーザビームの光路差とビジビリティとの関係を示す図。

【図8】 本発明の他の実施の形態に係るレーザービーム均一照射光学系の配置を示す図1(B)相当の側面図。

【図9】 本発明の他の実施の形態に係るレーザービーム均一照射光学系の配置を示す図1(B)類似の図で、入射光の光軸と導波路中心軸とを斜交した配置を示す。

【図10】 入射光の光軸と導波路中心軸とを斜交した配置におけるビーム分割を示す図。

【図11】 入射光の光軸と導波路中心軸とを斜交して配置した導波路におけるレーザービームの分割の態様を説明する図3同様図(A、B)。

【図12】 本発明の他の実施の形態に係るレーザービーム均一照射光学系の配置を示す図1(B)相当の図で、導波路入射面を導波路中心軸に斜交するように配置してある。

【図13】 本発明の分割用シリンドリカルレンズアレイと遅延板とを利用した他の実施の形態に係るレーザービーム均一照射光学系の配置を示す図で、(A)はy方向から見た図、(B)はx方向から見た図をそれぞれ示す。

【図14】 変形例にレーザービーム均一照射光学系の配置を示す図13(B)に同様の図。

【図15】 分割用シリンドリカルレンズアレイにおけるレーザービームの分割の態様を説明する図(A、B)。

【図16】 分割用シリンドリカルレンズアレイにより分割した互いに隣接する2つの分割ビームを照射面上で重ね合わせたときの合成照射ビームの強度分布とビジビリティを示す図( $d=s$ のとき)。

【図17】 分割用シリンドリカルレンズアレイにより7つに分割した分割ビームを照射面上で重ね合わせたときの合成照射ビームの強度分布とビジビリティを示す図( $d=s$ のとき)。

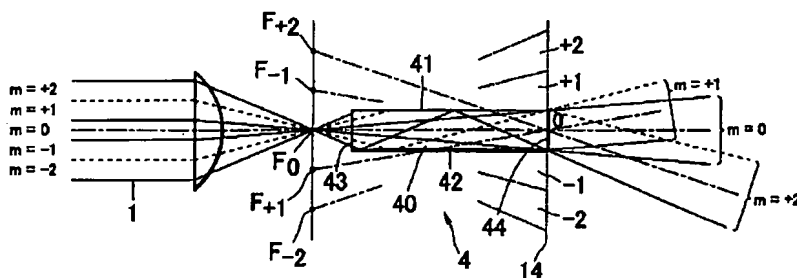
【図18】 分割用シリンドリカルレンズアレイを使用して、転写用シリンドリカルレンズアレイの微小シリンドリカルレンズの異なる焦点距離を有する用にした図13(B)同様図。

【図19】 さらに、各分割ビームを照射面上ですらして重ね合わせる図18同様の図(A)と、照射面上の照射ビームの強度分布を示す図(B)。

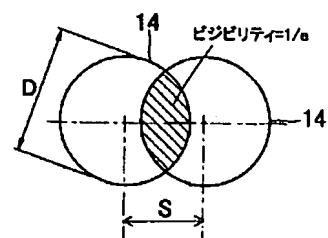
【符号の説明】

1 レーザビーム、2 遅延板、21 遅延板、29 遮蔽体、31 ビーム拡大レンズ、32 y方向コリメートレンズ、33 x方向コリメートレンズ、34 集光レンズ、4 導波路、41 反射面、42 反射面、5 分割用シリンドリカルレンズアレイ、51 転写用シリンドリカルレンズアレイ、61 転写レンズ、62 集光レンズ、9 照射体、90 照射面。

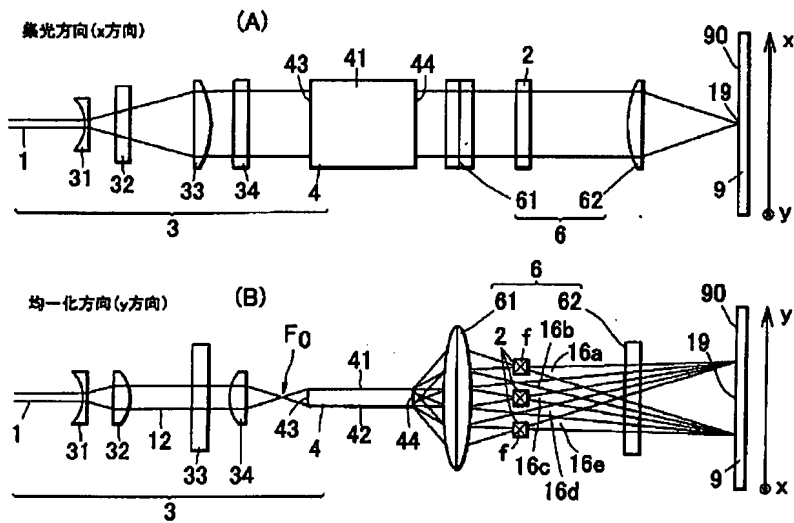
【図2】



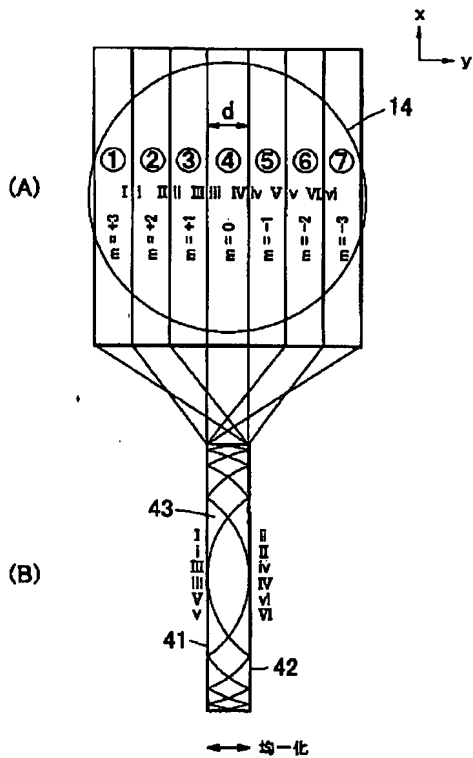
【図5】



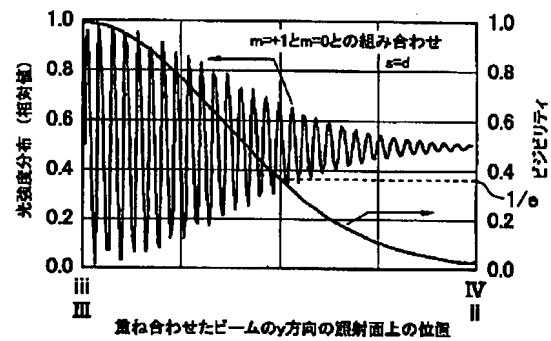
【図1】



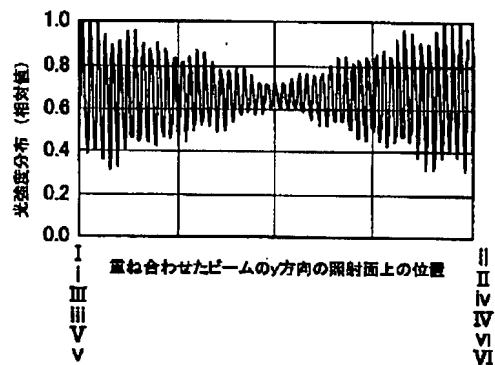
【図3】



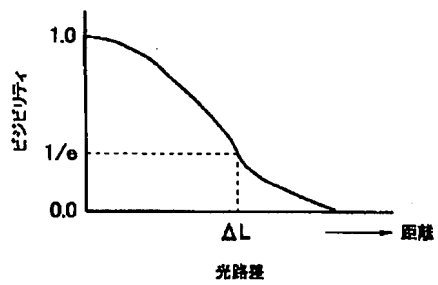
【図4】



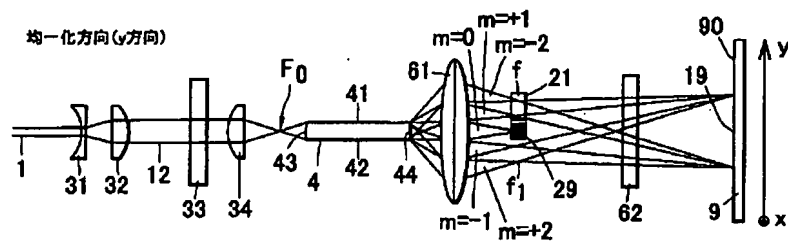
【図6】



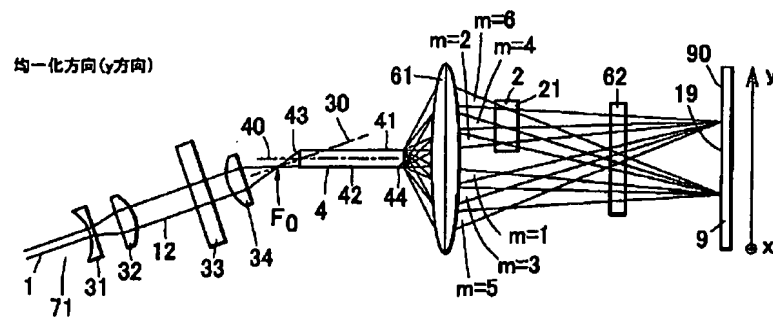
【図7】



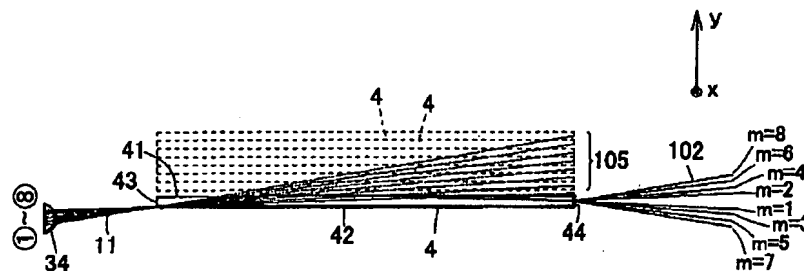
【図8】



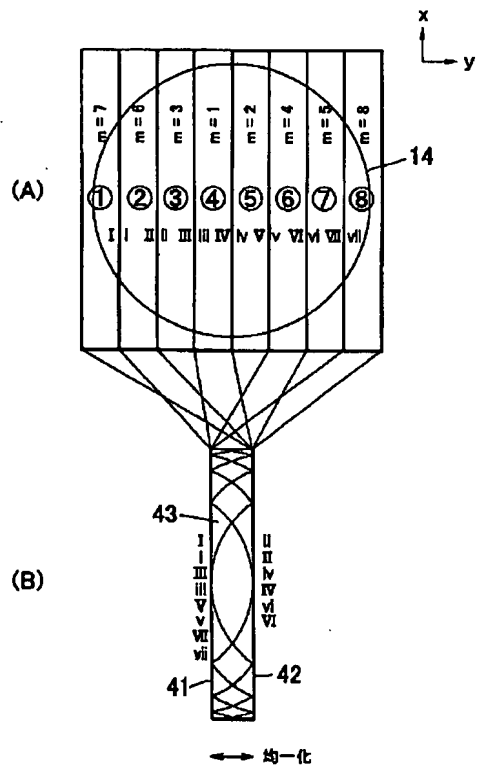
【図9】



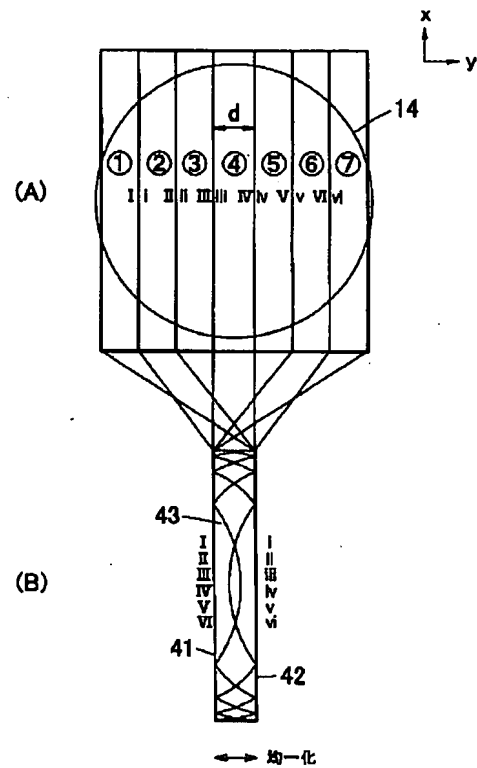
【図10】



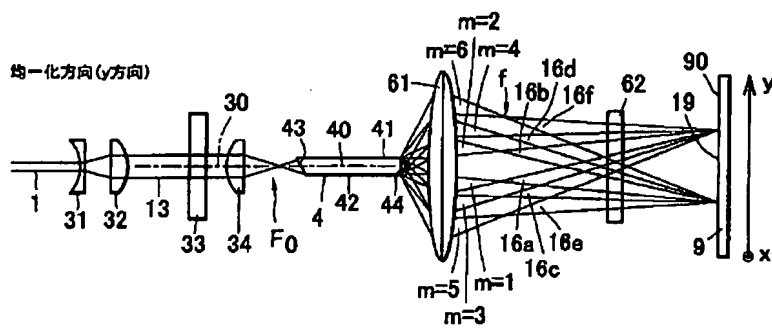
【図11】



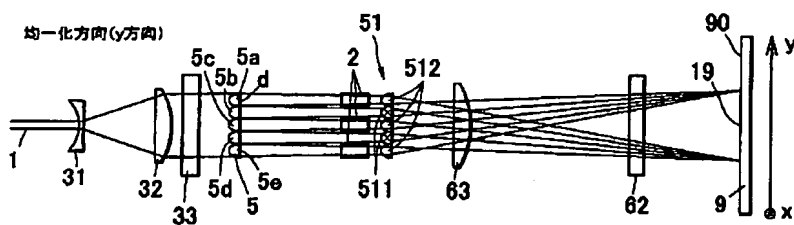
【図15】



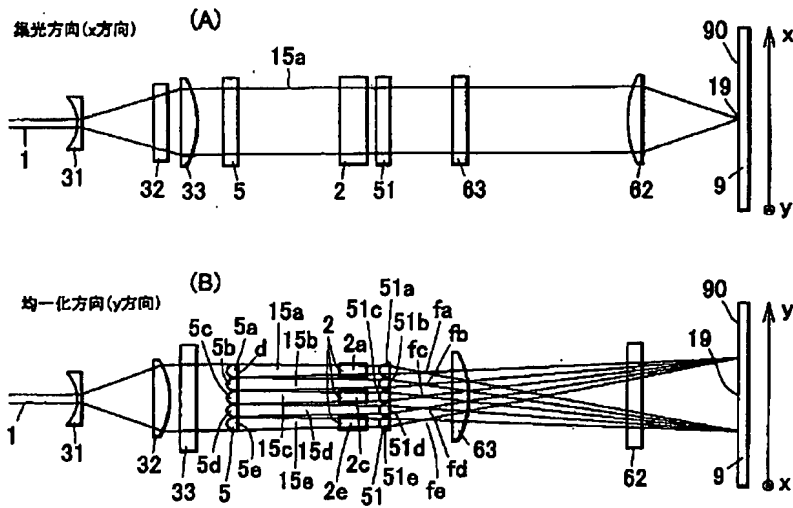
【図12】



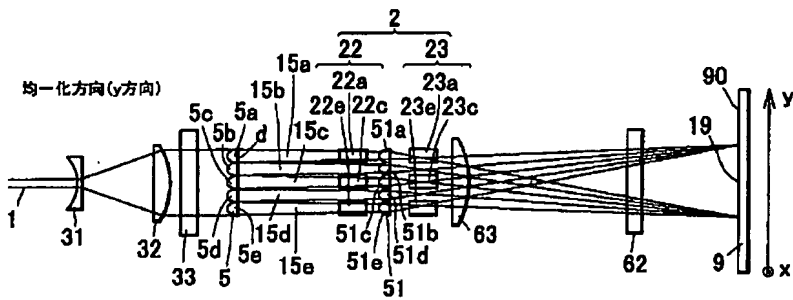
【図18】



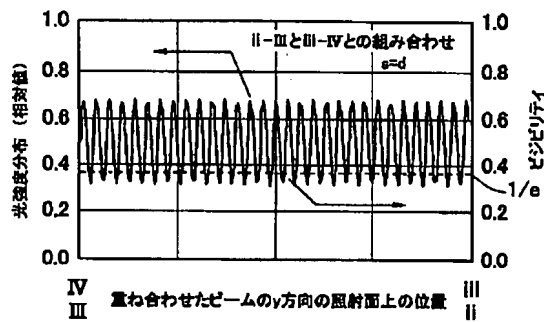
【図13】



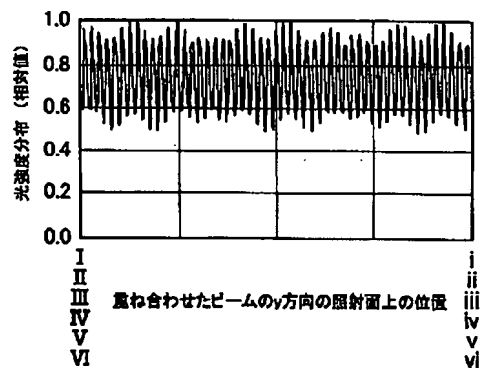
【図14】



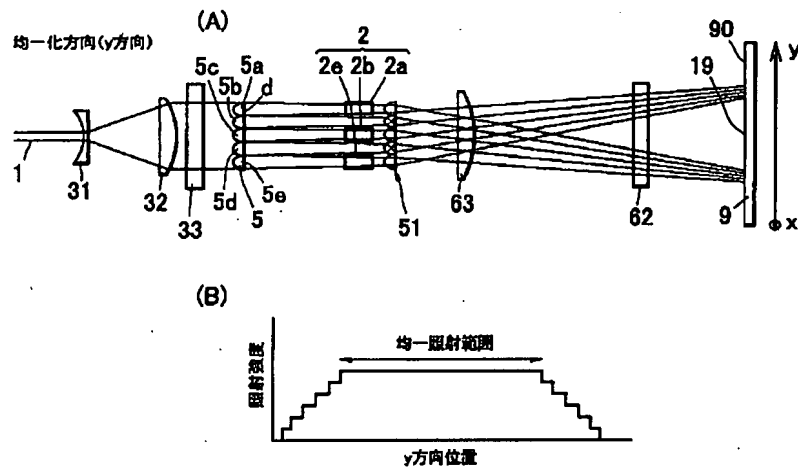
【図16】



【図17】



【図19】



フロントページの続き

(72)発明者 森川 和敏  
東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三  
菱電機株式会社内  
(72)発明者 佐藤 行雄  
東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三  
菱電機株式会社内

(72)発明者 西前 順一  
東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三  
菱電機株式会社内  
(72)発明者 小川 哲也  
東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三  
菱電機株式会社内

## \* NOTICES \*

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the optical system for a laser beam homogeneity exposure which has improved the homogeneity of the exposure laser beam in an exposure side on the occasion of the lasing of an irradiated object.

[0002]

[Description of the Prior Art] As an example which heat-treats by laser radiation, covering formation of the amorphous silicon film is beforehand carried out by the gaseous-phase forming methods, such as CVD, on the suitable substrate, for example, a glass substrate, on the occasion of manufacture of the polycrystal silicon film, and the approach of scanning and polycrystal-izing this amorphous silicon film by the laser beam is learned.

[0003] By the polycrystal-ized approach of the silicon film, for example, condense the laser beam from a laser light source on the amorphous silicon film with a lens, carry out laser radiation, the silicon film is made to scan in the case of an exposure, and there are some which are crystallized in process of melting coagulation. The shaft-orientations profile of the beam in an exposure location on the strength of this laser beam is usually the Gaussian distribution of axial symmetry in the source of laser depending on a profile. The polycrystal silicon film fabricated by the exposure of such a beam had the very low homogeneity to the crystalline direction of a field, and it was difficult to use a thin film transistor for manufacture by making this into a semi-conductor substrate.

[0004] Furthermore, using excimer laser with short wavelength, the profile of an exposure beam is made rectangle-like distribution and the technique which carries out exposure heating is known by the semi-conductor film. For example, it was what lets two cylindrical-lenses Daley who intersects mutually JP,11-16851,A and a 10-333077 official report in a field perpendicular to an optical axis in the laser beam from an oscillator pass, lets a convergent lens pass ahead [ the ], and is completed as a semi-conductor film front face. It was what repeats and fabricates the polycrystal band of constant width on the semi-conductor film by this approach's making the laser beam which takes Gaussian distribution uniform intensity distribution by two cylindrical-lens arrays by the 2-way which intersects perpendicularly, and the exposure laser beam in a semi-conductor film front face serving as width of face which is different by the 2-way which intersects perpendicularly on the semi-conductor front face, and carrying out sweep migration of the exposure laser beam.

[0005] If such a cylindrical-lens array divides the laser beam from a laser light source and it is further compounded in respect of an exposure, interference of a laser beam will arise in respect of an exposure, and it will become the striped pattern of strong height. Since the profile of the migration direction of a laser beam on the strength influences crystal growth greatly when the semi-conductor film carries out heating crystallization using a rectangle-like exposure laser beam, interference produced with the piled-up beam in such an exposure side is not desirable to making it grow up to be the crystal grain of the silicon film greatly.

[0006] The approach except the heterogeneity of the exposure laser reinforcement by this interference is proposed, and the optical system of a configuration of making a beam into parallel light in KORIO meter from the light source, irradiating the mirror which has a phase-like reflector, and irradiating by the cylindrical-lens array which compounds the beam divided by the mirror, and the cylindrical lens for convergence is indicated to JP,2001-127003,A. With the divided beam, with the level difference between each reflector, this establishes the optical path difference more than the coherent die length of a laser beam, and prevents interference between the division beams in an exposure side.

[0007] Moreover, JP,2001-244213,A prevents interference similarly by making the laser beam from the light source into parallel light with a beam collimator, irradiating two or more small reflecting mirrors, irradiating an exposure side, piling up the reflected light from each reflecting mirror, and securing the optical path difference of the laser beam



which reflects each plane mirror more than coherent die length.

[0008]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] Although the technique of the above-mentioned beam equalization divided the laser beam from the same light source, established the optical path difference using the reflecting mirror which has two or more reflectors for the interference at the time of piling up in respect of an exposure and was prevented, such optical system needed the special reflecting mirror. Especially the optical system of JP,2001-244213,A needs the arrangement which bends the optical axis of the optical system by the reflecting mirror, and each reflecting mirror of optical system had further the problem to which it is necessary to arrange so that specific physical relationship may be correctly fulfilled to an exposure side corresponding to many division beams, and arrangement of a reflecting mirror becomes complicated, and the degree of freedom of the optical system which should be arranged as a thermal treatment equipment becomes low. To the large source of laser oscillation of time coherence length, equipment became greatly and complicated, and it was not realistic especially to have prepared the optical path difference in all division beams, and optical adjustment was difficult for it.

[0009] In the optical system which forms the exposure beam which generally piled up the division beam which divided the laser beam in view of the above-mentioned problem, and was equipped with uniform intensity distribution on the exposure side, this invention prevents interference between the division beams by superposition, and offers the laser beam homogeneity exposure optical system which can attain much more equalization of an exposure beam. This invention tends to offer homogeneity exposure optical system easy [ the configuration and adjustment for preventing such interference and equalizing an exposure beam ], and easy. Furthermore, especially this invention tends to be applied to the laser-heating equipment for applying to the amorphous silicon film as an irradiated object, and carrying out the polycrystal-ization, and it is going to offer the optical system which covers a crystal-face region and enables manufacture of the polycrystal silicon film with few lattice defects.

[0010]

[Means for Solving the Problem] A laser beam division means by which the laser beam homogeneity exposure optical system of this invention divides the laser beam from a laser light source spatially in a beam cross section, The superposition exposure means which piles up two or more divided beams on an exposure side, and carries out a \*\*\*\*\* exposure, It is what consists of the equalization means which makes beam reinforcement on an exposure side homogeneity. Beam division of the light source laser beam is carried out so that the above-mentioned laser beam division means may make the above-mentioned beam division width of face  $1/2$  or more twice the spatial coherence length of the direction of a cross section in the above-mentioned beam cross section. When a division beam is piled up in respect of an exposure, interference between division beams is mitigated, and exposure intensity distribution are equalized.

[0011] This laser beam homogeneity exposure optical system with moreover, a laser beam division means to divide the laser beam from a laser light source spatially in a beam cross section and the superposition exposure means which piles up two or more divided beams on an exposure side, and carries out a \*\*\*\*\* exposure It is what consists of the equalization means which makes beam reinforcement on an exposure side homogeneity. The above-mentioned equalization means prevents the interference on the exposure side between the division beams which adjoined mutually including an optical delay means to delay one side of the contiguity division beam which adjoins mutually [ the beam which the above divided ] for a long time rather than time coherence length to another side, and equalizes exposure intensity distribution. Furthermore, the laser beam homogeneity exposure optical system of this invention makes exposure intensity distribution homogeneity extremely by reducing the element of the spatial coherence length of the direction of a cross section of the above-mentioned laser beam, and the element of the time coherence length of the direction of an optical axis both.

[0012] The division width of face of an above-mentioned division beam is specified as width of face of the division beam in the outgoing radiation side of a laser beam division means, and spatial coherence length says the spatial coherence length in the cross section when being projected on the laser beam from the light source in the location of the outgoing radiation side concerned at this time. This spatial coherence length says the minimum lap distance of two beams in case the visibility of the after-mentioned [ interference produced when a laser beam branches to two and piles up again on an exposure side after that ] is set to  $1/e$ .

[0013] In this invention, although the ratio to the spatial coherence length of the direction of a cross section in the beam cross section of division beam width is made or more into  $1/2$ , it takes still more preferably or more for one two or more [  $1/\text{root}$  ] preferably. That is, the width of face of the division beam divided by the beam division means is set up  $1/\text{root}$  the more than twice of spatial coherence length by 1 or more times especially preferably. Although the upper

limit of division beam width is decided by the number of partitions which divides a laser beam, the number of partitions is at least 5, and is seven or more preferably. Although it is so effective in flattening of the reinforcement of an exposure laser beam that the number of partitions is large, it is not desirable that enlarge the number of partitions and the above-mentioned division beam width becomes less than 1/2 ratio to spatial coherence length. 5-7 are used and the practical number of partitions sets division beam width as 1 or more times to spatial coherence length.

[0014] Waveguide and a cylindrical-lens array are included in a laser beam division means. All divide a laser beam in the any 1 direction in a perpendicular field to an optical axis.

[0015] Waveguide contains the light transmission body of the hollow which has the reflector which counters mutually, or a solid. Waveguide in the air can use what countered and has arranged two mirror planes at fixed spacing. The waveguide of a solid is the light transmission body which made both principal planes the mirror plane with tabular, and can usually use the plate of optical glass. In such waveguide, the condenser lens which carries out incidence of the radiation laser beam from the source of laser between the reflectors in waveguide is included in a laser beam division means.

[0016] The division beam to penetrate and 2 sets per count of the reflection which reflects in the reflector which counters of division beams are obtained from the outgoing radiation side of waveguide without reflecting the inside of waveguide in a reflector.

[0017] Furthermore, waveguide's structure thru/or arrangement which does not produce the division beam passed without reflecting is desirable. Without inserting a single optical delay means in the group of another side by inserting only in the division beam of a fixed group, this arrangement can mitigate the interference on an exposure side, and has the advantage which can make arrangement of a single optical delay means simple.

[0018] For this reason, a screen can be preferably inserted and covered with the division beam which is not reflected and which \*\*\*\*\* (ed). The structure to which incidence of the incident light to waveguide is asymmetrically carried out to a waveguide medial axis can be used for another mode. For this reason, waveguide cannot be made to produce the division beam passed without the optical axis of the incidence laser beam to waveguide crossing diagonally with the medial axis between the reflectors of the above-mentioned waveguide and reflecting between reflectors, either. The plane of incidence of the waveguide concerned makes still more nearly another mode the medial axis of waveguide, and the configuration in which it crosses diagonally using a light transmission body [ solid / waveguide ], and it is made to be refracted by the plane of incidence in which incident light crossed diagonally, and once [ at least ], it is made to reflect in a reflector and a division beam can be constituted. In these modes, there is an advantage which can use all division beams for an exposure as compared with the configuration which carries out the oblique light of the division beam which is not reflected, and which \*\*\*\*\* (ed).

[0019] On the other hand, the cylindrical-lens array as a laser beam division means can be pillar-shaped, can be arranged to the one direction where a cross section makes parallel two or more convex lens-like cylindrical lenses, and intersects perpendicularly with an optical axis substantially, and can obtain the division beam which corresponds for every cylindrical lens of each \*\*\*\*. The collimator which carries out incidence of the parallel light to a cylindrical-lens array is preferably included in a laser beam division means to use a cylindrical-lens array.

[0020] It is inserted in the optical path which each division beam divided into the optical delay means spatially mutually preferably using the light transmission body, i.e., delay plate, for delay of a beam in this invention. At this time, among the division beams adjoined when projecting each division beam on a laser beam conversely, at least, a delay plate is inserted in either and the optical path difference is optically established between the division beams which adjoin mutually. the optical path difference is size-attributed from the time coherence length of the laser beam, the separated division beam irradiates an exposure side, and a delay plate can prevent interference of the laser beam at the time of a heavy bubble knot. The optical path difference is prescribed by the difference of the beam transparency die length of a delay plate, and the refractive index of a delay plate and the refractive index of air.

[0021] Such a delay plate is inserted in such a field when forming the field which carried out spatial separation of two or more minute rate beam which formed the division beam from a laser beam division means in the superposition exposure means with the imprint lens including the imprint lens imprinted to an exposure side. For example, when a laser beam division means is waveguide, it is arranged in the focal location which each division beam converged with the imprint lens. When a laser beam division means is a cylindrical-lens array, it can arrange on the outgoing radiation side optical path of each cylindrical lens.

[0022] Thus, the part penetrates an optical delay means, a superposition exposure means piles up a division beam on an exposure side, and carries out a \*\*\*\*\* exposure, and the profile of exposure laser projects two or more division beams so that it may change with the shape of the shape of a rectangle, and a straight line. The intensity distribution of the

longitudinal direction of the irradiated beam become uniform.

[0023] Such optical system is suitable for using for the annealing equipment for carrying out heating fusion, and polycrystal-izing the silicon coat of the amorphous substance which carried out covering formation by the chemical gaseous-phase forming method etc., or polycrystal on a glass substrate, or making it grow up to be a bigger and rougher crystal.

[0024] The crystal silicone film which carried out the sweep of the silicon coat top with the beam width by scanning in the direction which forms the linear exposure beam made into the shape of thin double width on a silicon coat front face, and intersects perpendicularly with a beam line in the above-mentioned optical system for annealing especially, could be made to carry out crystal growth to it as heated to homogeneity, and was equipped with uniform high crystallinity since the beams were uniform intensity distribution with few interference figures can be manufactured.

[0025]

[Embodiment of the Invention] In the gestalt of operation of gestalt 1. this invention of operation, although laser beam homogeneity exposure optical system is shown in drawing 1 (A) and drawing 1 (B), this optical system shows the example which forms the exposure profile of the shape of a straight line converged in breadth and the x directions at the line by distribution uniform in the direction of y on an exposure side. Including the laser beam division means 3, the superposition exposure means 6, and the optical delay means 2, the laser beam division means 3 divides a laser beam into the division beams 16a-16e of the number of requests using waveguide 4, and optical system is carrying out image formation of the division beam as an exposure beam 19 of a straight-line-like profile on the exposure side with the superposition exposure means 6.

[0026] With this operation gestalt, including the beam magnifying lens 31, the direction collimate lens 32 of y, and the x direction collimate lens 33 for making the laser beam 1 from a laser oscillation machine into a collimated beam including the optical system for carrying out incidence into waveguide 4, subsequently to the direction of y the laser beam division means 3 condenses, and contains the condenser lens 34 of the cylindrical lens which carries out incidence into waveguide 4.

[0027] The parallel main front face which counters mutually has reflectors 41 and 42, and the reflectors 41 and 42 of waveguide 4 are perpendicular to the direction of y in this drawing. The incidence end face 43 and the outgoing radiation end face 44 to which a laser beam 1 penetrates between both reflectors lie at right angles to the optical axis of a laser beam. The division beam of the component which the laser beam 1 which carried out incidence passes through between reflectors, and is emitted from an outgoing radiation edge, and 2 division beam of the component which carried out reflection ( $m=1$ ) once in either of the reflectors 41 and 42 ( $m=+1$ ,  $m=-1$ ), two division beams ( $m=+2$ ,  $m=-2$ ) of the component of 2 times reflection ( $m=2$ ) in both reflectors, and each which the count beyond 3 times thru/or it reflected further -- the division beam of a pair is divided into each component emitted from an outgoing radiation edge.

[0028] Although the division beam from waveguide 4 is piled up and projected on the exposure side 90 by the superposition exposure means 6, the superposition exposure means 6 can constitute a division beam from an imprint lens 61 (cylindrical lens) of the direction of y imprinted in the direction of y on an exposure side, and a condenser lens 62 (cylindrical lens) which condenses in the x directions. The direction imprint lens 61 of y lets the x direction condenser lens 62 pass, it extends to the die length of a convention [ on the exposure side 90 ] in the direction of y, the x direction condenser lens 62 makes a line converge it in the x directions, and, thereby, the exposure beam 19 of a straight-line-like profile is obtained on an exposure side.

[0029] Although each division beam makes a focal spot, the imprint lens 61 of the direction of y of the superposition exposure means 6 is set up so that it may project on the exposure side 19, and a division beam arranges the light transmission body 2 for delay as an optical delay means in the location separated spatially mutually near the focal spot location This delay plate 2 delays one of optical paths to the optical path of another side about the division beam in the field to which a division beam adjoins each other mutually before division, establishes the optical path difference optically, and prevents interference between two division beams when piling up on the exposure side 19. The example of drawing 1 is a focal spot location by the side of the outgoing radiation of the imprint lens 61, and arranges the delay plate 2 to set even a division beam.

[0030] In more detail, although drawing 2 shows the mode of division of the laser beam from a laser oscillation machine about the waveguide of a laser beam division means, incidence of the laser beam from a laser oscillation machine (un-illustrating) is carried out into waveguide 4 through a focus F0 with the condenser lens 34 of a cylindrical lens. Within waveguide, there is a division beam (count  $m=0$  of reflection) which a part of incident beam penetrates without reflection in a reflector. As for those ( $m=**2$ ) with two kind, and each division beam, the division beam which the division beam reflected only once by the reflector 41 which counters mutually, or 42 reflected in the direction of y

twice in those ( $m = \pm 1$ ) with two kind and reflectors 41 and 42 is similarly emitted in the direction of  $y$  from the outgoing radiation side 43. the virtual-image focus  $F+1$  of each division beam emitted to the field which is perpendicular and includes a focus  $F0$  to an optical axis from the outgoing radiation side 43,  $F-1$ ,  $F+2$ , and  $F-2$  -- it is -- each division beam -- these virtual-images focus  $F+1$  -- pass opening of the outgoing radiation side 43 from .... it seems to emanate.

[0031] Supposing the profile of the beam which projected the laser beam which spreads through a focus with the condenser lens 34 when assuming that there is no waveguide on the field of the location of the outgoing radiation side 44 is a circle 14, this projected laser beam 14 can be decomposed into the component of the partition corresponding to each of many division beams. each component in the cross section of a laser beam 1 -- a cross-section top -- the direction of  $y$  --  $m = -2$  and - the component which will be emitted from the outgoing radiation side 44 of waveguide 4 if it classifies in order of 1, 0, +1, and +2, i.e., a division beam, -- the direction of  $y$  -- the count  $m = +2$  of reflection, and - cautions are taken to become the array of the order of the component of 1, 0, +1, and -2.

[0032] In drawing 2, only the arrangement of the division beam of the component of  $m = 0$ , +1, and +2 emitted from the outgoing radiation side 44 of waveguide 4 is shown, and the division beam of  $m = +1$  and  $m = +2$  is mutually emitted to an opposite direction to the interface of a reflector. On the other hand, although there is a division beam of  $m = -1$  and -2 in the direction of the symmetry to the longitudinal plane of symmetry of the reflector of  $m = +1$  and +2, it is omitted all over drawing.

[0033] Drawing 3 (A) diagrams the division width of face of the division beam in the laser beam 14 which projected the laser beam on the flat surface where the outgoing radiation side 44 of waveguide 4 corresponds from a focus  $F0$ , without making it reflect by waveguide 4. This is an example which divides the laser beam 14 of a circular profile into seven by waveguide.

[0034] In waveguide 4, in respect of [ 44 ] the outgoing radiation of waveguide 4, the division beam which adjoins mutually is turned up and it is superimposed on it. Then, the boundary part of the component by division of a laser beam 1 which adjoins mutually corresponds in the clinch section of the division beam in the outgoing radiation side of waveguide in drawing 3 (B). For example, in drawing 3 (A), it is turned up in respect of [ 44 ] the outgoing radiation of waveguide, and the boundary sections iii of  $m = 0$  which touches the boundary section III of the component of  $m = +1$  and this overlap, as shown in drawing 3 (C).

[0035] If such a turned-up division beam is piled up on the exposure side 90 through the direction imprint lens 61 of  $y$ , the  $x$  direction condenser lens 62, etc. and it is projected, interference will be produced with an exposure beam on an exposure side, and wavelike distribution will be formed in reinforcement.

[0036] Although drawing 4 shows the example of the intensity-distribution Fig. on an exposure side when only two components of the division beam from waveguide are piled up and irradiate the count  $m = +1$  of reflection, and two components of  $m = 0$  on the exposure side 90 through the direction imprint lens 61 of  $y$ , the  $x$  direction condenser lens 62, etc. Although it interferes greatly and being suited on the original laser beam in the division beam boundary sections iii and III which adjoin mutually, fluctuation of the intensity distribution which interference depends is small in the division beam boundary sections IV and ii similarly left mutually on the laser beam of a basis. In this drawing, the division width of face  $d$  was taken along the axis of abscissa, and relative beam reinforcement is taken along the axis of ordinate. However, drawing 4 makes the intensity distribution of a laser beam approximate to Gaussian distribution, and the division width of face  $d$  is a case equal to the spatial coherence length  $s$ .

[0037] It depends for extent of interference by the superposition on an exposure side on a ratio with the laser beam spatial coherence length  $s$  in the division width of face  $d$  and its location. When it presupposes that intensity distribution [ in / in the spatial coherence length  $s$  / the beam cross section of a laser beam ] save Gaussian distribution here, As typically shown in drawing 5, it is prescribed that beam diameter  $D$  is the path  $D$  of a circle ( $1/e^2$  yen) in case reinforcement is set to 1 of optical-axis reinforcement /  $e^2$  ( $e$  is the bottom of a natural logarithm here). A single laser beam is branched to two and it is defined as the distance of the center to center of  $1/e^2$  yen of both sides when the visibility of an interference fringe decreases at  $1/e$  to the exposure field which shifted the optical axis of each other and overlapped from the condition in which carried out the optical axis in common, and it was made to interfere on an exposure side. It is the value to which visibility  $2/(1 + e^2)$  the difference of the highest reinforcement of intensity distribution, and the minimum reinforcement in which it interfered by the sum of the highest reinforcement and the minimum reinforcement here, and is the scale which shows extent of interference.

[0038] When division width of face  $d$  of a laser beam is set to  $d = s/2$ , in visibility, in the lap section of the exposure beam of the field which approaches mutually [ the division beam which adjoins each other mutually ], visibility becomes  $1/e$  by the lap section of the exposure beam of near and the distant field 1. In the staging area, it gradually

decreases to  $1$  to  $1/e$ . With a desirable operation gestalt, the division width of face  $d$  is or more  $d=s/2$ , and visibility is reduced to below  $1/e$  in the lap section of the exposure beam of the field left in this case. <BR> [0039] Furthermore, when it is made more than  $d=s/\sqrt{2}$ , in the lap section of the exposure beam of the distant field, visibility reduces the division width of face  $d$  of a laser beam to  $1/e^2$ . In the lap section of the exposure beam of the field left with the most desirable operation gestalt, visibility is reduced less than  $[1/e^4]$ .

[0040] Although the intensity distribution when waveguide 4 dividing a laser beam into seven as shown in drawing 2, and piling up the division width of face  $d$  on an exposure side for  $d=s$  are shown in drawing 6, the intensity distribution improved considerably are shown. The period  $T$  of the interference fringe generated in this drawing is decided by  $T=\lambda/\sin\theta$ .  $\lambda$  is wavelength here and  $\theta$  is the difference of the incident angle on two division beam exposure sides 19 which produce interference.

[0041] Furthermore, the optical system of this invention includes an optical delay means to delay either of the contiguity division beams which the above-mentioned equalization means adjoins mutually among the division beams formed by the above-mentioned waveguide for a long time rather than time coherence length to another side. Although this optical delay means is used also for a solid light transmission body also by the hollow mirror, it is that of what establishes the optical path difference for the division beam from the field which adjoins mutually interfering each other among both, and prevents interference.

[0042] Time coherence length  $\Delta L$  of a laser beam is  $\Delta L = c \Delta t$ . It is given by  $\lambda^2/\Delta\lambda$ . Here, for the velocity of light and  $\Delta t$ , a coherence time and  $\Delta\lambda$  of  $c$  are the wavelength width of face (spectral band width) of laser, and coherence length becomes long, so that the wavelength width of face of laser is narrow here. If it illustrates, since it is spectral-band-width  $\Delta\lambda=0.12-0.30\text{nm}$ , by Nd:YAG laser, time coherence length  $\Delta L$  will be set to  $\Delta L=3.8-9.4\text{mm}$  about the  $\lambda=1.06\text{-micrometer}$  beam of main wavelength.

[0043] Drawing 7 is the distance (namely, optical-path-difference  $\Delta a$ ) of the difference of the visibility in the exposure side of two division beams divided from the field which adjoins mutually [ a laser beam ], and the optical path established between division beams, Although relation is shown When the optical path difference is time coherence length  $\Delta L$ , visibility becomes still smaller by reducing visibility to  $1/e$  and enlarging further the optical path difference from between division beams.

[0044] The optical path difference is formed between the division beams with which two or more division beams insert in either of the division beams which are easy to produce interference mutually as an optical delay means, the delay plate 2, i.e., the optical-glass plate, of translucency, and which they adjoin in the location separated mutually at drawing 1 at it. Although this example imprints the beam divided by waveguide 4 with the direction imprint lens 61 of  $y$  and the exposure beam 19 forms on an exposure side with the  $x$  direction condenser lens 62, a focus  $f$  forms in each beam with the direction imprint lens 61 of  $y$  between the direction imprint lens 61 of  $y$ , and the  $x$  direction condenser lens 62, and the glass plate as a delay plate 2 inserts the focal location  $f$  or before and after that, and prepares the optical path difference in either of the adjacent beams. This example is inserting the glass plate alternately [ of five division beams ], and other division beams pass in the space between the delay plates 2 and 2 which adjoin each other mutually. Since interference between the division beams which adjoin mutually the exposure beam piled up on the exposure side with such a delay plate 2 of an array does not arise, intensity distribution can make it a uniform profile substantially. Optical-path-difference  $\Delta a$  by the glass plate is given by thickness  $a$  of a glass plate,  $\Delta a=a(n_1-n_0)$  from the refractive index  $n_1$  of glass, and the refractive index  $n_0$  of air /  $n_1$ .

[0045] Optical-path-difference  $\Delta a$  by the glass plate is that ( $\Delta a \geq \Delta L$ ) which is set up more than time coherence length  $\Delta L$ , and glass thickness  $a$  which gives the optical path difference more than time coherence length  $\Delta L$  from these formulas between the division beams which adjoin mutually is called for. Preferably, the thickness of a delay plate is set up so that the optical path difference of 4 times or more may be established still more preferably with a delay plate  $\Delta L$  twice [ more than ] as many time coherence length as this. For example, Nd: In an YAG laser, when a quartz ( $n_1=1.46$ ) is used for an optical delay means, optical-path-difference  $\Delta a$  is set to  $12-30\text{mm}$  by time interference distance  $\Delta L$  to  $3.8-9.4\text{mm}$ .

[0046] Although gestalt 2. drawing 8 of operation is the modification of the above-mentioned operation gestalt and shows arrangement of the optical system seen from  $x$  directions, every time it removes the difference of arrangement of the optical delay means 2, it shows the same laser beam homogeneity exposure optical system as the optical system of drawing 1 (A) and drawing 1 (B) fundamentally.

[0047] especially in the gestalt of this operation, it intercepts by the screen 29 which has arranged the rectilinear-propagation beam in the case of the count  $m=0$  of reflection in the focal location  $f$  behind the direction imprint lens of  $y$  -- it is. Since the rectilinear-propagation beam of  $m=0$  does not arrive at an exposure side, this does not contribute it

to interference. Or ( $m=-1, +2$ ) inserts only in either. therefore -- as the optical delay means 2 -- a rectilinear-propagation beam ( $m=0$ ) -- receiving -- the group ( $m=+1, -2$ ) of the division beam of a symmetric design -- Since the herd of another side does not arrange the optical delay means 2, by this the interference between division beams on an exposure side mitigation and the optical delay means 2 Advantage \*\*\*\* which can use the glass plate of one sheet or glass rod which makes one division beam group ( $m=+1, -2$ ) penetrate collectively, and can simplify an optical system. [0048] In the optical system of gestalt 3. this invention of operation, the laser beam division means by the waveguide which prevented that all division beams reflected once [ at least ], and two or more reflective division beams carried out same number time reflection is offered so that the division beam which goes straight on, without reflecting the inside of waveguide may not be included. As shown in drawing 9, the structure which was a predetermined include angle, crossed diagonally and has arranged the optical axis of the incident light study system of a laser beam division means can be used for such a laser beam division means to the medial axis of waveguide.

[0049] As shown in drawing 10 and drawing 11, circumference component \*\* of the beam of the condenser lens 34 of the cylindrical lens which carries out incidence into waveguide 4 carries out incidence to the plane of incidence of waveguide 4. It reflects once and is emitted from an outgoing radiation side, and, respectively it is reflected and 3-times-reflected, 4 time reflection of other beam component \*\*\*\*\*s of a condenser lens 34 is carried out twice, in a reflector, and other components are reflected further many times, and it is set up so that it may emanate from an outgoing radiation side. It emanates and the divided beam is expressed with the figures 1-8 of the count  $m$  of reflection to the emission side side of drawing 10.

[0050] In drawing 11, the superposition of the division beam in an outgoing radiation side is indicated to be division beam arrangement of the beam cross section in the flat surface 151 on the outgoing radiation side 44. The sequence of the count of reflection expresses the sequence of arrangement of the division beam in a laser beam cross section. Therefore, although a delay plate is arranged as a spatial delay means only to either since it is easy to interfere on an exposure side in the division beams of one difference in the sequence of the count of reflection In the focal  $f$  location according to the direction imprint lens of  $y$  as this arrangement is shown in drawing 9 the division beam of even count (4 for example,  $m=2, 6$ ) reflection Since it inclines toward one side to the division beam of odd counts, the division beam of even count reflection is easily realizable by inserting the single delay plate 21.

[0051] in drawing 11, the width of face  $d$  of a division beam was stated to the above-mentioned operation gestalt -- as -  $1/2$  or more [ of the spatial coherence length  $s$  ] -- desirable --  $1/\text{root}$  -- it is especially set or more to one two or more.

[0052] Although drawing 12 shows other examples which do not form the division beam which goes the inside of waveguide straight on Although this example makes the optical axis 40 of waveguide 4 in agreement with the optical axis 30 of a condenser lens 34 By carrying out an oblique intersection to it being also at a suitable include angle, and making the incident beam in the plane of incidence which crossed diagonally refracted without making the plane of incidence 43 of waveguide 4 intersect perpendicularly to an optical axis Lose reflection 0 times, obtain the division beam of reflection, such as 1 time, 2 times, and 3 etc. times, and it also sets for this example. the focal  $f$  location according one delay plate 21 to the direction imprint lens of  $y$  -- setting -- the division beam of even times reflection (4 for example,  $m=2, 6$ ) -- or the optical path difference between the division beams which adjoin mutually can be established by inserting in the division beam of odd times reflection collectively.

[0053] Although the operation gestalt by the cylindrical-lens array is shown below as a beam division means besides gestalt 4. of operation, this example carries out incidence of the collimated beam from a collimate lens 33 to the cylindrical-lens array 5 including the beam magnifying lens 31, the direction collimate lens 32 of  $y$ , and the  $x$  direction collimate lens 33 for laser beam homogeneity exposure optical system to make a collimated beam the laser beam 1 from a laser oscillation machine including the optical system for carrying out incidence to the cylindrical-lens array 5, as shown in drawing 13.

[0054] Although the lens which made the cylindrical-lens array 5 the shape of a column in the  $x$  in drawing direction, and accumulated the cross-section convex lens in the direction of  $y$  towards the optical axis is pointed out, the example of drawing consists of five steps of cylindrical lenses, and, thereby, 5 division beam is formed.

[0055] the line which the division beam to the direction of  $y$  from the cylindrical-lens array 5 for division has been arranged ahead [ the ], incidence was carried out to the cylindrical-lens array 51 for the imprint of another object, and the division beam from the cylindrical-lens array 51 for an imprint was projected on the exposure side 90 with the condenser lens 62 (cylindrical lens) which condenses in the  $x$  directions, and it was uniform in the direction of  $y$ , and converged in the  $x$  directions thinly -- it fabricates with the exposure beam 19 which has a profile. Furthermore, the field lens 63 is arranged between the cylindrical-lens array 51 for an imprint, and the condenser lens 62.

[0056] Although the delay plate 2 is inserted in the division beams 15a-15e divided in the direction of  $y$  from the



cylindrical-lens array 5 for division as an optical delay means, the delay plate 2 is inserted in the division beams 15a, 15c, and 15d in every other one, and is not inserted in other division beams 15b and 15d. Thereby, mutually, the interference on the exposure side 90 between \*\*\*\*\* division beams (for example, between the division beams 15a and 15b or between the division beams 15b and 15c) is pressed down, and can equalize the intensity distribution which interference of the piled-up exposure beam depends.

[0057] Although drawing 15 (A, B) shows the mode of division of the laser beam in the cylindrical-lens array 5. The beam divided by each minute cylindrical lens. Unlike division by previous waveguide, there is no clench in the case of the superposition in respect of an exposure. It is only superimposed, therefore, as for the intensity distribution after composition, a difference does not have the superposition of exposure \*\*\*\*\* in interference in the direction of y through the cylindrical-lens array 51 for an imprint, and the x direction condenser lens 62 in two adjoining division beams, either. It is shown that the intensity distribution of drawing 16 by the superposition on the exposure side of two division beams which adjoin mutually when making division width of face d equal to the above-mentioned spatial coherence length s are fixed in the direction of y, and the visibility is fixed at  $1/e$ . Although drawing 17 shows the intensity distribution when piling up on an exposure side by making division width of face d into  $d=s$  about the above-mentioned division beam divided into seven, it is the direction of y and shows quite good distribution.

[0058] Although gestalt 5, drawing 14 of operation is the modification of the laser beam homogeneity exposure optical system shown in drawing 13, it arranges the delay plates 22 and 23 of a pair, respectively in the focal location the division beam of the cylindrical-lens array 5 for division, and ahead of the cylindrical-lens array 51 for an imprint of the front. In this example, since the delay plate has been divided and arranged before and after the cylindrical-lens array 51 for an imprint, the field imprinted and the field to imprint can become conjugation relation, and, thereby, there is an advantage which can make min effect of the diffraction in respect of an exposure.

[0059] Although it is the modification of the laser beam homogeneity exposure optical system shown in drawing 13, gestalt 6, drawing 18 of operation is prepared so that the microlens 512 of the cylindrical-lens array 51 for an imprint about the division beam which inserted the delay plate 2, and the microlens 511 of the cylindrical-lens array 51 for an imprint about the division beam which is not inserting the delay plate may have a focal distance which is different so that the image formation in respect of an exposure may become uniform. Although a gap of the focal location f arises to the division beam which is not inserted by inserting the delay plate 2 for optical-path die length in the division beam in every other one of the division beam in which the array partitioning was carried out in the direction of y by the cylindrical-lens array 5 for division. A gap of a focal location can be compensated with the focal distance of each microlens of the cylindrical-lens array 51 for an imprint, and, thereby, the intensity distribution of each division beam by which image formation is carried out on an exposure side can be made into homogeneity.

[0060] Although gestalt 7, drawing 19 (A) of operation is the modification of the laser beam homogeneity exposure optical system shown in drawing 13, this example faces [ irradiating the exposure side 90 with the lens for an imprint ] the division beam in which it was divided in the direction of y and the delay plate 2 was inserted every other beam, and it shifts it in the direction of exposure side top y with the field lens 63, and prevents interference between division beams by piling up.

[0061] Although the intensity distribution of the exposure beam 19 when shifting a division beam and irradiating on the exposure side 90 are shown in drawing 19 (B), although intensity distribution decrease stair-like, as for the main parts except both ends, the uniform distribution with little interference is acquired at the both ends of the exposure beam 19 of the direction of y.

[0062]

[Effect of the Invention] Since laser beam homogeneity exposure optical system of this invention is made into  $1/2$  or more twice the spatial coherence length of the direction [ in / for the above-mentioned division beam width / in a laser beam division means / a laser beam cross section ] of a cross section, it can reduce interference by the division beam in an exposure side, and can form the exposure beam of uniform intensity distribution in an exposure side.

[0063] The equalization means which makes homogeneity beam reinforcement when irradiating the beam divided with the laser beam division means on an exposure side is included. Since the above-mentioned equalization means includes an optical delay means to delay one side of the contiguity division beam which adjoins mutually [ the beam which the above divided ] for a long time rather than the time coherence length of this laser beam to another side [0064] which can prevent interference which originates in the time coherence length between the beams which adjoin each other mutually when a division beam is irradiated on an exposure side. If the waveguide of the direction of a single dimension which has the reflector which counters a laser beam division means mutually is used, the interference on the exposure side of the beam which this divided is mitigable.

[0065] Moreover, if the cylindrical-lens array for division which divides a laser beam in single dimension is used for a laser beam division means, the interference on the exposure side of the beam which this divided is mitigable.

[0066] It is made into  $1/2$  or more twice the spatial coherence length of the direction [ in / for the above-mentioned division beam width / in a laser beam division means / a laser beam cross section ] of a cross section. And since it is made for an equalization means to include an optical delay means to delay one side of the contiguity division beam which adjoins mutually [ the beam which the above divided ] for a long time rather than the time coherence length of this laser beam to another side Laser beam homogeneity exposure optical system has the advantage which can reduce effectively the interference and the time coherence length by spatial coherence length.

[0067] The ununiformity of the intensity distribution by interference of the exposure beam on the exposure side which originates the above-mentioned beam division width of face in spatial coherence length with more than the  $1/\sqrt{2}$  twice of spatial coherence length, then time coherence length is mitigable.

[0068] The ununiformity of the intensity distribution by interference of the exposure beam on the exposure side which originates the above-mentioned beam division width of face in more than spatial coherence length, then spatial coherence length is further mitigable.

[0069] The above-mentioned laser beam division means can reduce effectively the interference and the time coherence length by the spatial coherence length between the division beams by the waveguide, then waveguide of the direction of a single dimension which has the reflector which counters mutually.

[0070] Two or more division beams in which the above-mentioned optical delay means formed the division beam from a laser beam division means with the imprint lens including the imprint lens imprinted to an exposure side as a superposition exposure means in the field which carried out spatial separation Arrangement of the delay plate arranged so that light transmission of either of the contiguity division beams divided into this space target may be carried out, then a delay plate becomes easy, and structure is comparatively easy and can form the exposure beam of uniform intensity distribution with little interference.

[0071] If the division beam passed without reflecting between the reflectors of the above-mentioned waveguide is intercepted, with the delay plate of a piece, the optical path difference of a necessary division beam can be established, and structure is comparatively easy and can form the exposure beam of uniform intensity distribution with little interference.

[0072] Without making the energy of a laser beam lose, if it is made the important point which does not produce the division beam passed without the optical axis of the incidence laser beam to waveguide crossing diagonally with the medial axis between the reflectors of the above-mentioned waveguide and reflecting between reflectors, the optical path difference of all necessary division beams can be established, and structure is comparatively easy and can form the exposure beam of uniform intensity distribution with little interference.

[0073] Waveguide consists of a solid light transmission body, if it is made the important point which does not produce the division beam passed without the plane of incidence of the waveguide concerned crossing diagonally with the medial axis of waveguide and reflecting between reflectors, optical system can be arranged in the shape of a coaxial to an optical axis, the optical path difference of all necessary division beams can be established similarly, and structure is comparatively easy and can form the exposure beam of uniform intensity distribution with little interference.

[0074] Especially a division beam has the advantage to which arrangement of a delay means becomes easy as the cylindrical-lens array for division into which the above-mentioned laser beam division means divides a laser beam in single dimension, then a collimated beam estranged mutually.

[0075] There is an advantage to which arrangement of a delay means becomes easy as the delay plate arranged so that light transmission of either of the division beams which adjoin mutually may be carried out in the field in which the above-mentioned optical delay means carried out spatial separation of two or more division beams formed by the cylindrical-lens array for division, then a collimated beam estranged mutually.

[0076] [0077] which can perform easily the imprint of a up to [ the exposure side of the division beam which established the optical path difference mutually ] if it is made for a superposition exposure means to contain the cylindrical-lens array for an imprint which imprints the division beam from the cylindrical-lens array for the above-mentioned division to an exposure side If the above-mentioned optical delay means is divided and arranged ahead [ of a cylindrical-lens array / the back and ahead ] for this imprint, the field imprinted and the field to imprint can become conjugation relation, and, thereby, there is an advantage which can make min effect of the diffraction in respect of an exposure.

[0078] As the minute cylindrical lens which imprints the division beam which passes an optical delay means, and the minute cylindrical lens which imprints the division beam which does not pass an optical delay means have a different



focal distance, in an exposure side, all division beams can carry out image formation of the cylindrical-lens array for an imprint to Sharp, and can compound it to it.

[0079] If it is made for a delay plate to consist of transparent glass to a laser beam, there is an advantage which can carry out optical system for constituting simple.

[0080] The exposure beam of homogeneous intensity distribution can be formed for the source of laser on an exposure side using the fundamental wave or the higher harmonic wave, then the good laser light source of solid state laser or semiconductor laser. Especially higher-harmonic laser has the advantage which can raise heating effectiveness using the wavelength light which is easy to absorb in a semi-conductor layer.

[0081] It is the semi-conductor film of the amorphous substance formed on the substrate, or polycrystal, and the above-mentioned optical system can use an exposure side effective in crystallization of the optical system for semi-conductor film annealing, then the semi-conductor film.

---

[Translation done.]